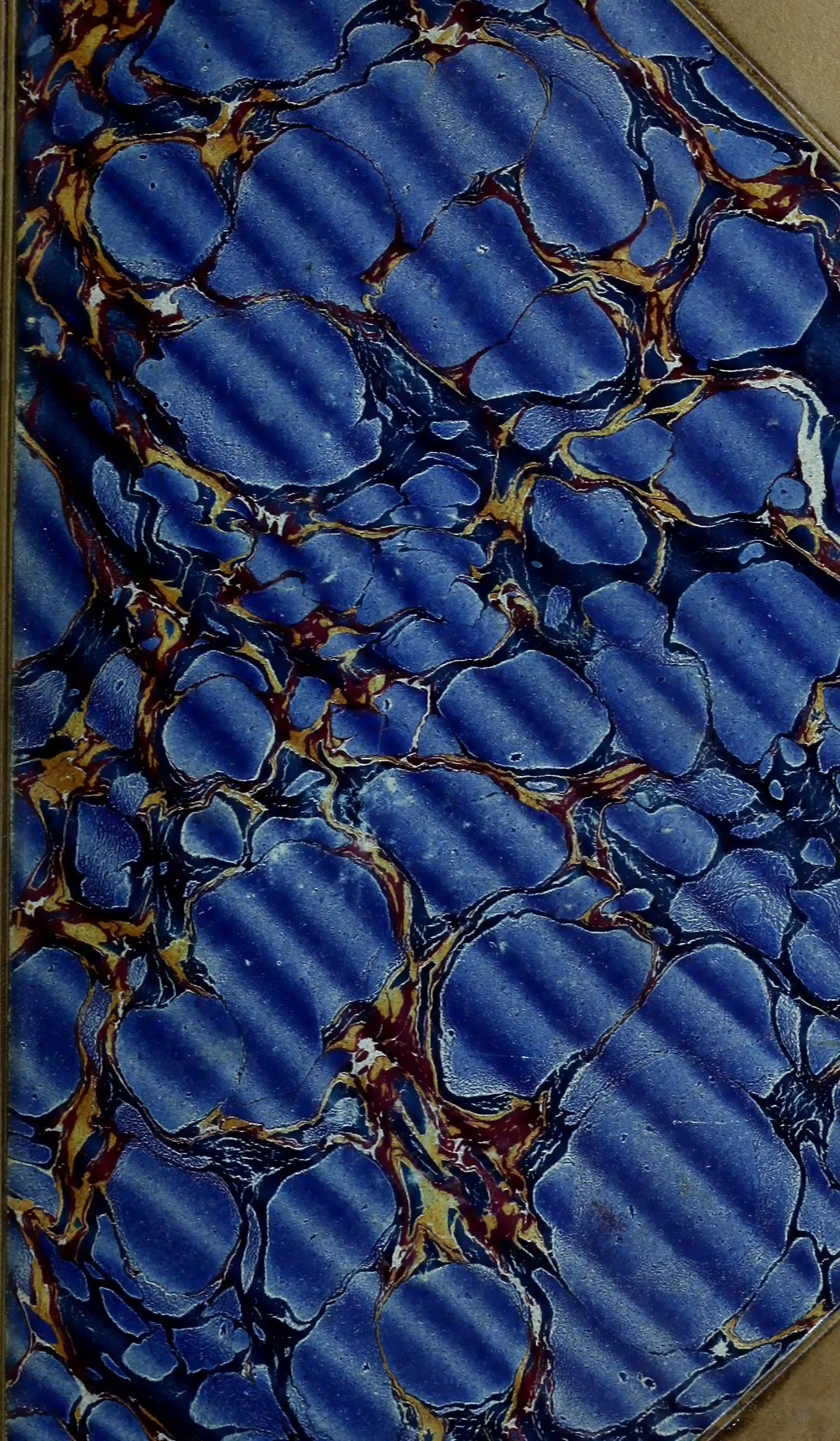


ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

SIXIÈME SÉRIE

BOTANIQUE

PARIS. — IMPRIMERIE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2



ANNALES

DES

SCIENCES NATURELLES

BOTANIQUE

COMPRENANT

L'ANATOMIE, LA PHYSIOLOGIE ET LA CLASSIFICATION
DES VÉGÉTAUX VIVANTS ET FOSSILES

PUBLIÉE SOUS LA DIRECTION DE

M. J. DECAISNE

TOME VI

PARIS
G. MASSON, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE
Boulevard Saint-Germain et rue de l'Eperon
EN FACE DE L'ÉCOLE DE MÉDECINE
1878



RECHERCHES

SUR

L'ACCROISSEMENT TERMINAL DE LA RACINE

CHEZ LES PHANÉROGAMES

Par M. Ch. FLAHAULT.

Depuis quelques années les naturalistes ont accordé une attention toute particulière au développement des êtres. Ces recherches ont eu les résultats les plus féconds; elles sont devenues la base de toute étude anatomique; elles ont jeté une vive lumière sur beaucoup de points jusque-là fort obscurs.

En Botanique notamment, la plupart des anatomistes ont pris, depuis dix ans, le développement de l'embryon et des différents organes comme point de départ de leurs observations; pour arriver à des résultats précis, beaucoup d'efforts ont été tentés, des travaux spéciaux ont été publiés en grand nombre. Les observateurs qui se sont occupés tout d'abord de rechercher le développement des végétaux ont basé sur des observations incomplètes des généralisations prématurées; il en est souvent ainsi lorsque des problèmes de ce genre attirent pour la première fois l'attention. La valeur de ces généralisations hâtives, qui avaient séduit beaucoup de savants, a été mise en doute par des études ultérieures.

Les premiers observateurs s'étaient efforcés de démontrer que les tissus des différents organes des plantes se forment aux dépens du méristème primitif, suivant une loi commune. On

n'a pas tardé à découvrir des faits nombreux qui ne pouvaient rentrer dans la règle, considérée trop tôt comme générale; des études attentives furent entreprises; les matériaux furent bientôt assez nombreux pour nécessiter des recherches comparatives plus étendues.

Basés sur des observations critiques et approfondies, ces travaux méritèrent plus de confiance que les premiers. C'est ainsi que la science possède aujourd'hui des données à peu près certaines sur le développement terminal de la tige et de la racine des Cryptogames vasculaires.

On sait aussi d'une manière certaine que, chez les Phanérogames, il n'y a jamais au sommet végétatif de cellule génératrice unique; qu'il y a jusqu'au sommet une différenciation plus ou moins considérable dans le méristème, et les données acquises par divers auteurs sur l'accroissement terminal de la tige sont devenues classiques; mais la structure du sommet végétatif de la racine dans les Phanérogames a continué à faire l'objet des discussions des savants.

De nombreux mémoires ont été publiés sur ce dernier point. Parmi ces travaux, les uns, et ce sont les plus nombreux, n'ont porté que sur des points spéciaux, sur des observations particulières et très-localisées; d'autres ont embrassé l'ensemble de la question.

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

Nous devons constater qu'avant les premières généralisations, la science possédait déjà quelques données éparses dans différents mémoires ou publications. Ainsi, dès 1865, M. Otto Nicolaï publiait, sur l'accroissement de la racine, un mémoire où il révèle que le point végétatif des Phanérogames est formé d'un groupe de cellules qui, au moyen de divisions successives, forment d'un côté la coiffe, de l'autre le corps de la racine (1). Vers la même époque, M. Sanio donnait une

(1) Otto Nicolaï, Das Wachsthum der Würzel (*Schriften der königl. phys. ök. Gesellschaft zu Königsberg*, p. 33-37, pl. II-III.

grande impulsion à l'étude de l'accroissement terminal chez les Phanérogames, sans traiter cependant particulièrement de la racine (1).

La voie était donc déjà préparée quand parurent les travaux spéciaux sur cette question.

On pourrait distinguer deux périodes successives dans l'exposé historique de ces travaux : période de *généralisation*; période d'*analyse*.

Dès 1868 parut le grand travail de MM. Nägeli et Leitgeb (2). Ce beau mémoire traite surtout des Cryptogames vasculaires. Il a fait connaître qu'il existe au sommet végétatif de la plupart de ces plantes une cellule terminale unique, qui a le plus souvent la forme d'une pyramide triangulaire à base courbe. Dans la racine, cette cellule, en se divisant par des cloisons parallèles à ses faces, forme des segments successifs d'où procède par des différenciations ultérieures tout le tissu de cet organe; il se sépare aussi de la cellule terminale, mais parallèlement à sa base, des segments qui sont l'origine de la coiffe.

Ce type d'organisation se reproduisant à peu d'exceptions près, au moins dans ses traits essentiels, chez toutes les Cryptogames vasculaires, les auteurs pensèrent *à priori* qu'il pouvait en être de même chez les Phanérogames.

Ils ne parvinrent qu'à découvrir, au sommet de la racine des Phanérogames, un méristème irrégulier (page 138) ; mais ils pensèrent aussi qu'en étudiant l'origine des radicelles, ils arriveraient à des résultats plus précis. A la suite d'observations poursuivies dans ce sens, ils crurent pouvoir dire, bien qu'avec quelque hésitation, qu'au sommet des jeunes radicelles il y a une cellule terminale unique, mais seulement temporaire. Ils établirent d'ailleurs un fait important au sujet des Phanérogames, c'est que les radicelles s'y développent aux dépens du

(1) Sanio, *Bot. Zeitung*, 1865.

(2) Entstehung und Wachsthum der Würzeln (*Beiträge zur wissensch. Botan.*, Heft IV, p. 138, München, 1868).

péricambium, tandis que dans les Cryptogames vasculaires elles procèdent de l'endoderme.

Vers le même temps, M. Hanstein (1) affirmait que jamais chez les Phanérogames le sommet végétatif n'est formé par une cellule terminale unique, mais par un groupe de cellules de méristème; il ajoutait que la coiffe est formée par des cellules filles séparées de l'épiderme auquel il donne dès cette époque le nom de *dermatogène*.

Deux ans plus tard cet auteur confirma ces premières données par la publication d'un long mémoire (2), qui eut à cette époque un grand retentissement. M. Hanstein cherche à appuyer, par l'étude du développement de l'embryon, ses idées sur la structure du sommet végétatif de la racine. Il a le mérite d'avoir démontré que la présence d'une cellule terminale unique est réellement inadmissible chez les Phanérogames. D'après lui, le cylindre central auquel il donne le nom de *plérome* tire son origine d'un groupe de cellules de méristème, qu'il appelle cellules initiales. Le *périblème*, qui n'est autre chose que le tissu cortical, a aussi des initiales spéciales, et la coiffe est formée par les divisions tangentielles de l'épiderme ou *dermatogène*. Ces résultats avaient été obtenus exclusivement par l'étude de l'embryon et les observations n'avaient pas été continuées au delà de la maturité de la graine.

Quelques mois plus tard, le travail de M. Hanstein fut suivi par la publication des recherches de M. Reinke, son élève, qui a étudié l'accroissement de la racine adulte (3). Les résultats de ces deux travaux sont tellement semblables, qu'il est difficile de les analyser l'un sans l'autre. M. Reinke s'occupe du sommet de la racine développée, et, quoique les exemples cités par lui soient bien peu nombreux, il se croit autorisé à admettre que la structure qu'il a trouvée réalisée avec une grande sim-

(1) Die erste Entwiklung der Axen, etc. Bonn, 1868.

(2) Die Entwicklung des keimes der Monocotyl. und Dicotyl. (*Botan Abhandl.*, Bonn, 1870).

(3) Untersuchungen über Wachsthumgeschichte und Morphologie der Phanerogamen Wurzel (*Botan. Abhandl.*, Bonn, 1871).

plicité dans la racine de l'*Helianthus*, s'étend à celle de toutes les Angiospermes, aussi bien aux Monocotylédones qu'aux Dicotylédones.

On ne peut s'étonner que les conclusions de ces auteurs aient été adoptées tout d'abord. M. Reinke, il est vrai, ne décrivait qu'un nombre de plantes extrêmement restreint, mais il avait soin de faire observer, à la fin de son mémoire, qu'il a étudié des représentants de presque toutes les familles de plantes indigènes, et que toutes lui ont révélé une structure analogue à celle de l'*Helianthus*. Il admet d'ailleurs qu'on pourra découvrir par des études plus spéciales quelques différences; mais il lui paraît à peine vraisemblable que ces différences soient très-frappantes.

C'est ici que se termine la première période de notre historique; de nouvelles études confirmèrent les résultats généraux obtenus par MM. Nägeli et Leitgeb sur les Cryptogames vasculaires. On demeura aussi d'accord sur ce point que, chez les Phanérogames, il y a au sommet un groupe de cellules initiales ayant un fonctionnement tout différent de celui de la cellule terminale des Cryptogames; mais, quant aux autres résultats acquis par M. Hanstein et M. Reinke, ils furent mis en doute, niés, et diversement interprétés par les nombreux auteurs qui reprirent la question.

Déjà M. Sachs avait donné, dans la première édition de son traité de botanique (1), une figure représentant le sommet de la racine du *Zea Mays*. D'après cette figure, la structure de ce sommet ne correspondrait pas du tout au type de l'*Helianthus*. On y voit en effet que l'épiderme a, avec l'écorce, des initiales communes, et que la coiffe en est tout à fait indépendante. M. Reinke n'en fait pas mention; il résulte cependant des conclusions de son mémoire que cette figure doit être inexacte : il me semble que l'auteur aurait dû la signaler pour en discuter la valeur. Peut-être cette comparaison lui eût-elle appris la vérité, car toutes les recherches ultérieures ont démontré l'exactitude de ce dessin.

(1) Lehrbuch der Botanik, 1re édit. 1868, fig. 111.

Il est bon de remarquer que dès le début de 1872 M. Reinke publiait une courte note sur le *Pinus Pinea*, pour montrer que dans cette plante la coiffe ne provient pas du dermatogène, mais de toutes les assises du périblème (1).

Peu de temps après parut un mémoire considérable de M. Strasbürger (2), qui étendait à toutes les Conifères, aux Gnétacées et aux Cycadées la structure décrite par M. Reinke pour le *Pinus Pinea*, et figurée par lui. Les deux auteurs sont d'accord sur ce point, mais M. Strasbürger croyait trouver dans les Amentacées, les Casuarinées et les Protéacées, des termes de passage entre les *Archispermes* et les *Métaspermes* (Gymnospermes et Angiospermes). Il abandonna cependant cette opinion à la suite d'une nouvelle note où M. Reinke (3) dit que la racine du *Salix alba*, qu'il a étudiée, rentre dans le type des Angiospermes; il maintient seulement qu'au sommet de vieilles racines, par exemple de *Betula* et de *Quercus*, il n'est plus possible de suivre l'épiderme à l'intérieur de la coiffe (4).

La théorie de MM. Hanstein et Reinke n'avait jusque-là reçu aucune atteinte grave : on pouvait bien supposer qu'il y avait quelques cas douteux; mais quand parut le travail de M. Russow sur les Cryptogames vasculaires (5), ces doutes prirent une importance plus considérable. L'auteur consacre en effet une partie importante de son mémoire à comparer les Phanérogames aux Cryptogames vasculaires. Il déclare que dans l'embryon du *Phaseolus multiflorus*, du *Vicia Faba*, et dans beaucoup de racines non embryonnaires, on ne peut suivre l'épiderme sous la coiffe; au contraire il trouve que dans la plupart des embryons (*Rheum*, *Triticum*, *Cephalaria*, Composées) le dermatogène entoure le méristème primitif d'une couche continue (page 178); et il ajoute un peu plus loin (p. 179) : « Lorsqu'il y a dans les racines embryonnaires un

(1) *Bot. Zeitung*, 1872, p. 49-53.
(2) Die Coniferen und Gnetaceen. Iena, 1872 (avec 26 pl.).
(3) *Bot. Zeitung*, 1872, p. 661-671.
(4) *Bot. Zeitung*, 1872, p. 757-763.
(5) Vergleich. Untersuch. über Leitbündelkrypt. (*Mém. Acad. de St-Pétersbourg*, 7e série, 1872, t. XIX.)

dermatogène continu, le protoméristème est divisé en deux ou trois couches, qui font suite directement aux couches de l'écorce (*Triticum Spelta*, *Cephalaria procera*, *Rheum compactum*); dans quelques racines *non embryonnaires* (*Phaseolus multiflorus* et *Vicia Faba*), il n'y a de limite ni entre le périblème et le dermatogène, ni entre celui-ci et la coiffe. Le périblème et le plérome eux-mêmes ne sont pas nettement séparés l'un de l'autre. » On voit que M. Russow a eu le mérite de mettre en lumière, au sujet de questions qui ne faisaient pas l'objet de ses recherches, le fait qui avait échappé à MM. Hanstein et Reinke; il est aussi le premier qui ait signalé les différences notables et intéressantes que peut présenter la structure de la racine avant et après la germination.

Cependant M. Reinke, à propos d'un travail sur la morphologie des *Gunnera* (Haloragées) (1), attribue au sommet de la racine des plantes de ce genre la structure de l'*Helianthus*.

M. Hieronymus, de son côté, dans un travail sur les Centrolépidées, croit devoir attribuer aux racines des plantes constituant ce petit groupe le mode d'accroissement décrit par M. Reinke pour l'*Helianthus*, au moins dans ses caractères essentiels (2).

M. Prantl (3) trouve qu'il y a au sommet de la racine du *Zea Mays* deux cellules dominantes, qui ne forment pas seulement l'écorce, mais aussi l'épiderme; il fait observer que ces résultats ne s'accordent guère avec ceux de M. Reinke; il signale, comme M. Russow, chez les *Pisum sativum* et *Vicia Faba*, des divisions répétées de l'épiderme destinées à former la coiffe, une démarcation peu prononcée entre l'écorce et l'épiderme et un méristème commun à tous les tissus. Ce travail, malheureusement trop court, est basé sur des observations fort exactes.

(1) Untersuch. über die Morpholog. der Vegetationsorg. von *Gunnera* (*Morphol. Abhandl.*, Leipzig, 1873).

(2) Beiträge zur Kenntniss der *Centrolepideæ* (*Abhandl. der naturf. Gesellschaft*, Halle, 1873).

(3) Regeneration der Vegetationspunkts an Angiospermen Würzeln (*Arb. des bot. Instituts*, Heft IV, Würzbourg, 1874).

Mais des matériaux bien plus considérables furent réunis et publiés dès les premières semaines de la même année par M. de Janczewski (1). Son mémoire a fait connaître, d'une façon définitive, l'existence de variations très-importantes dans la structure du sommet de la racine chez les Phanérogames. Il a attribué même à ces variations assez d'importance pour les rapporter à cinq types distincts.

Le premier type, très-rare, comprend un petit nombre de Monocotylédones (*Hydrocharis Morsus-ranæ*, *Pistia Stratiotes*), chez lesquelles le sommet de la racine est constitué par quatre tissus primaires indépendants l'un de l'autre : la coiffe, l'épiderme, l'écorce, le cylindre central.

Le deuxième type présente au sommet de la racine trois tissus primaires indépendants : la coiffe, l'écorce, le cylindre central ; l'épiderme est la couche la plus extérieure de l'écorce. L'auteur a reconnu cette structure chez la plupart des Monocotylédones étudiées par lui.

Dans le troisième type on trouve les trois tissus primaires que présente le deuxième, mais l'épiderme n'est pas l'assise la plus extérieure de l'écorce; il est formé par l'assise génératrice de la coiffe transformée. Ce type comprend l'*Helianthus annuus* et quelques Dicotylédones; il n'est autre, par conséquent, que le type attribué par M. Reinke à toutes les Angiospermes.

Le quatrième type comprend des plantes de la famille des Papilionacées et des Cucurbitacées ; les tissus primaires y confluent au sommet en une assise génératrice transverse et se spécialisent à une faible distance.

Enfin les plantes du cinquième type (Gymnospermes) n'ont au sommet de leur racine que deux tissus primaires : le cylindre central et l'écorce. C'est l'écorce qui joue le rôle de coiffe. Pour ce qui concerne ce cinquième type, l'auteur déclare confirmer les travaux de M. Reinke et de M. Strasbürger.

Aussitôt après parut un second travail de M. de Janczewski

(1) Recherches sur l'accroissement terminal des racines dans les Phanérogames (*Ann. sc. nat.*, 5e série, t. XX).

sur le développement des radicelles dans les Phanérogames (1) : l'auteur confirme, par l'étude du développement des radicelles, l'établissement des cinq types dont je viens de donner les caractères; j'aurai fréquemment l'occasion de revenir sur ce sujet.

La publication de ces intéressants mémoires porta un coup décisif à la théorie de M. Hanstein et de M. Reinke, et il ne fut plus douteux pour personne que ce sujet n'appelât de nouvelles études.

M. Hieronymus, reprenant d'une façon plus spéciale l'étude du développement de la racine chez les Graminées et les Cypéracées, ne trouve pas les mêmes résultats que ceux qu'il avait publiés précédemment sur les Centrolépidées. D'après lui, le point végétatif de la racine des Graminées et des Cypéracées est occupé par un groupe de cellules terminales, qui reproduit dans ses caractères essentiels la forme des cellules terminales isolées des Fougères. Le dermatogène a avec le périblème des initiales communes; le plérome a des initiales particulières situées plus profondément; la coiffe n'est pas formée par le dédoublement du dermatogène, mais par une assise de cellules (calyptrogène cambial) située sur les initiales du dermatogène et du périblème. L'auteur est porté à croire que, dans les *Centrolepis*, le corps radiculaire tout entier dérive d'une cellule terminale, et la coiffe d'une cellule calyptrogène spéciale (2).

M. Hegelmaier publie, à la même époque, un travail sur le développement de l'embryon (3) ; il donne des détails intéressants sur le développement du sommet de la racine. D'après lui, le *Sparganium ramosum* et le *Canna indica* rentreraient dans le premier type de M. de Janczewski. L'auteur croit pouvoir affirmer que la coiffe est formée par une division tangentielle du dermatogène à un état très-jeune du développement de l'embryon. Il croit qu'aussitôt après cette première division,

(1) Recherches sur le développement des radicelles dans les Phanérogames (*Ann. sc. nat.*, 5e série, t. XX).

(2) Ueber die Entwicklung der Wurzelspitze der Gramin. und Cyperac. (*Sitzungsberichte der bot. Section der Schles. Gesellschaft*, 1874).

(3) Zur Entwicklung. Monocotyl. Keime, etc. (*Bot. Zeitung*, 1874, nos 39-44 avec 2 pl.).

c'est dans l'assise extérieure ainsi formée, et non dans le dermatogène, qu'ont lieu les divisions ultérieures de la coiffe. Les conclusions de l'auteur, au sujet de la structure du sommet de la racine, ne sont pas très-nettement formulées; il est important cependant de faire remarquer que l'auteur a distingué, dans la formation de la coiffe des Monocotylédones, deux phénomènes qui avaient été confondus par M. Hanstein : 1° la division d'une première couche de coiffe, ou couche calyptrogène, par une division tangentielle du jeune dermatogène (1); 2° le fonctionnement de cette couche calyptrogène, produisant la coiffe par des divisions centripètes, sans que le dermatogène y prenne part.

Cette confusion me paraît avoir été la cause principale de l'erreur de M. Hanstein et de M. Reinke.

C'est aussi à propos d'un travail embryogénique que M. Fleischer rend compte de ses observations sur le sommet végétatif de quelques plantes. D'après lui, dans le *Juncus glaucus* et le *Luzula multiflora*, la coiffe n'est pas formée non plus par le dermatogène; elle est régénérée par sa propre couche interne : c'est un véritable calyptrogène. Au sujet de quelques autres Monocotylédones et de quelques Dicotylédones, l'auteur confirme d'une façon générale les résultats du travail de M. Reinke. Il confirme aussi ce que l'on savait déjà de l'état dégradé de l'embryon des Orchidées (2).

M. Bruchmann croit devoir attribuer à la racine des Graminées quatre tissus primaires indépendants; mais il ne donne pas de détails sur ce point, qui ne fait pas l'objet spécial de ses recherches (3).

Enfin M. L. Koch, entreprenant l'étude du point végétatif de la racine des Cuscutes (4), trouve à cet organe une structure

(1) Voy. Hegelmaier, *loc. cit.*, fig. 29-33 et 59.

(2) Beiträge zur Embryog. der Monocotyl. und Dicotyl. (*Flora*, 1874).

(3) Der Würzeln von *Lycopodium* und *Isoetes* (*Ienaische Zeitschrift für Naturwissenschaft.*, Band VIII, 1874, note de la page 541).

(4) Untersuchungen über die Entwicklung der Cuscuteen (*Botan. Abhandl.*, Bonn, 1874).

particulière. Cette racine ne présente pas de coiffe, et les tissus ne confluent pas au sommet en un groupe d'initiales. Chaque file de cellules se termine à l'extrémité du cylindre radiculaire en conservant des initiales particulières ; on ne peut y distinguer ni plérome, ni périblème, ni dermatogène.

Par suite de ces observations plus ou moins restreintes et souvent contradictoires, les idées de M. Reinke avaient perdu tout crédit. Depuis cet auteur, personne n'avait essayé de ramener au seul type de l'*Helianthus* les cas nombreux qui avaient été étudiés. M. Holle le premier, dans une note publiée en 1876, essaye de ramener à un seul les deux types établis par M. de Janczewski pour les Dicotylédones. Il cite d'abord un certain nombre de familles passées sous silence par M. Reinke, qui les avait, parait-il, étudiées. Ce sont les Dryadées, Onagrariées, Alsinées, Crucifères, Papavéracées, Hédéracées, Gunnéracées, Violariées, Balsaminées, Euphorbiacées, Composées, Solanées, Scrofularinées, Asclépiadées, Primulacées, Ardisiacées, Salicinées, qui toutes appartiendraient au type de l'*Helianthus*. M. Holle y ajoute, d'après ses propres recherches, les Ombellifères, Renonculacées, Acérinées, Convolvulacées, Oléinées, Aurantiacées, Eléagnées, Nyctaginées, Artocarpées, Asarinées (1).

Le nombre des familles qui se rattachent à ce type est si grand qu'on doit au moins le considérer comme très-général pour les Dicotylédones. Quant au quatrième type de M. de Janczewski, M. Holle le regarde comme dû à des développements anormaux du point végétatif, comme une dégénérescence qu'on rencontre chez beaucoup de Dicotylédones ; il appuie cette affirmation sur l'étude d'un certain nombre de plantes, chez lesquelles il trouve des différences assez notables entre la structure de la racine développée et celle de la radicule avant la germination. Il insiste particulièrement sur ces différences que M. Russow avait déjà signalées, et montre que l'étude de la racine à divers états de développement peut avoir une grande utilité pour

(1) *Bot. Zeitung*, 1876, n. 16-17.

résoudre la question. Chez plusieurs Papilionacées, l'auteur trouve la radicule de l'embryon construite sur le type de l'*Helianthus*, tandis que la racine développée des mêmes plantes présente la dégradation qui caractérise le quatrième type de M. de Janczewski. M. Holle fait aussi connaître que dans plusieurs espèces d'*Acacia*, et dans le *Juglans regia*, le périblème prend part à la formation de la coiffe : ce n'est là aussi, selon lui, qu'une dégénérescence encore plus profonde du type. Il ne considère ni l'une ni l'autre de ces dégénérescences comme suffisamment caractérisées pour constituer des types spéciaux. Il est bien plus naturel, dit-il, d'admettre la présence des trois histogènes normaux, et de concevoir la production de la coiffe comme une fonction dévolue ordinairement au dermatogène, mais à laquelle le périblème peut exceptionnellement prendre part.

Dans une nouvelle note publiée il y a quelques mois (1), M. Holle revient sur ce sujet, pour affirmer la justesse de ses premières idées, à la suite de la publication du travail de M. Treub, et d'une communication préliminaire de M. Eriksson.

L'auteur appelle aussi l'attention sur la formation de la « colonne » déjà signalée par M. Reinke et constituée par les cellules de la coiffe situées dans l'axe de la racine. Les cellules médianes de la coiffe s'allongent dans la direction de cet axe au lieu de se diviser tangentiellement, comme le font les cellules latérales.

Quant au point végétatif des Monocotylédones, il se distingue essentiellement de celui des Dicotylédones par la présence d'un calyptrogène spécial. Le premier type admis par M. de Janczewski pour le *Pistia* et l'*Hydrocharis* ne paraît à l'auteur qu'une déviation sans importance. La racine de ces plantes présente en effet les caractères généraux du deuxième type de M. de Janczewski, et M. Holle croit avoir trouvé dans le développement des radicelles du *Vallisneria spiralis* un terme de passage entre le premier et le deuxième type.

(1) *Bot. Zeitung*, 1877, n. 34.

Ce court mémoire fournit, on le voit, des résultats importants : cependant les exemples étudiés par l'auteur n'étaient pas assez nombreux; les raisons qu'il donne n'étaient pas suffisamment appuyées pour mettre un terme à toutes les discussions.

D'ailleurs à la même époque parut un travail très-considérable et très-consciencieux de M. Treub sur le méristème primitif de la racine dans les Monocotylédones. Dans ce travail, l'auteur s'est proposé un but qui présente un grand intérêt : acquérir des données utiles au perfectionnement de la classification par l'examen des caractères anatomiques (1).

Au point de vue du développement terminal de la racine, voici les principaux résultats obtenus par M. Treub : On ne trouve pas de *dermato-calyptrogène* chez les Monocotylédones. L'accroissement de la racine s'opère suivant trois types différents. Dans le premier, il y a quatre tissus primaires : la coiffe, le dermatogène, le périblème, le plérome (*Pistia*, *Hydrocharis*). C'est le premier type de M. de Janczewski.

Dans le deuxième type, il y a trois tissus primaires : la coiffe, le périblème et le plérome (Joncées, Cannacées, etc., etc.).

Dans le troisième type, il n'y a que deux tissus primaires : les initiales du plérome surmontées par un groupe d'initiales communes qui fournissent des cellules pour le périblème et pour la coiffe. Le dermatogène n'est que la couche extérieure du périblème, comme dans le deuxième type, ou bien il se prolonge jusqu'aux initiales communes et s'individualise en même temps que le périblème (Liliacées, Amaryllidées, Dioscorées, etc., etc.).

Dans quelques cas, le méristème primitif de la racine constitue une transition entre le deuxième et le troisième type (Iridées, Pontédériacées, *Sparganium*, *Butomus*). On voit que les deux derniers types réunis forment le deuxième type de M. de Janczewski.

Peu de temps après, les Dicotylédones faisaient à leur tour l'objet d'une communication importante de M. Eriksson (2).

(1) Le méristème primit. de la racine dans les Monocotylédones Leyde, 1876.
(2) *Bot. Zeitung*, 1876, n. 41 (13 octobre).

Cette communication fut bientôt suivie d'un mémoire plus étendu (1), où l'auteur, se fondant sur l'observation d'un grand nombre de cas, établit pour les Dicotylédones quatre types de structure.

Le premier correspond au type de l'*Helianthus* de M. Hanstein, et présente tantôt une couche d'initiales du périblème, tantôt plusieurs.

Dans le deuxième type, le méristème du sommet de la racine ne présente que deux tissus distincts, un plérome et un tissu commun pour l'écorce primaire, l'épiderme et la coiffe.

Dans le troisième type, tous les tissus primaires de la racine naissent d'un méristème commun pour tous. C'est le quatrième type de M. de Janczewski.

Enfin le quatrième type correspond à celui des Gymnospermes ; il est caractérisé par la présence au sommet de la racine de deux tissus différents, un plérome, et un plériblème qui forme la coiffe par ses divisions tangentielles.

L'auteur insiste d'une façon particulière sur l'importance qu'aurait l'étude comparative de la racine développée et de la radicule, à cause des différences intéressantes déjà signalées par M. Holle. Il ne peut admettre la valeur des résultats obtenus par M. Treub, au sujet de la classification, ayant trouvé souvent, dit-il, une structure très-différente chez des plantes très-voisines. Il fait d'ailleurs observer lui-même qu'on ne trouvera pas nécessairement réunis tous les caractères qui constituent l'un de ces types dans la racine d'une même plante, à tous les âges; il signale même entre ces types de nombreux passages; il n'a pu rapporter à l'un ou à l'autre d'entre eux plusieurs des racines étudiées par lui.

Depuis qu'ont paru ces deux grands travaux, aucun mémoire important n'a été publié, à ma connaissance, sur ce sujet; cependant je dois signaler encore un court travail de M. de Solms-Laubach sur l'embryon des Commélynées et des

(1) Ueber das Urmeristem der Dicotylenwürzeln (*Jahrbücher für wissensch. Botan.*, Leipzig, 1877, avec pl. XVIII-XXVII.)

Dioscorées. Je reviendrai sur ce point au sujet de mes propres recherches (1).

M. de Bary, résumant il y a quelques mois l'état de la question (2), se demande si l'organisation des différents systèmes de tissus et la structure des organes doivent être considérées comme liées à l'organisation du méristème terminal, et d'une façon plus rigoureuse, si toujours chaque tissu distinct prend ou non naissance dans une même partie de méristème primaire (p. 7). Après avoir passé en revue les principales modifications de structure du sommet de la racine, l'auteur répond (p. 24) que des zones déterminées de méristème ne peuvent pas toujours être considérées comme l'origine de tissus déterminés, quoiqu'il en soit ainsi dans beaucoup de cas. En effet, dans beaucoup de racines, la distinction entre les différents tissus est très-nette jusqu'au sommet; pour les bourgeons feuillés, la confusion des méristèmes est au contraire le cas le plus fréquent. Il ajoute (page 25) :

« Nous voyons donc que la relation précise entre l'organisation primitive du méristème et la formation des tissus définitifs demeure admissible, mais qu'ils ne sont pas suffisamment distincts dès l'origine. »

J'aurai l'occasion de formuler plus tard ma pensée sur ce point.

Si nous jetons un coup d'œil d'ensemble sur les travaux publiés depuis que M. Reinke a exposé sa théorie, nous voyons que la confusion est devenue de plus en plus grande; la comparaison la plus attentive de tant d'affirmations diverses, de contradictions si nombreuses, ne permet pas de se former sur le point qui nous occupe une idée nette et précise.

En résumant les deux récents mémoires de M. Treub et de M. Eriksson qui embrassent toute la question, nous trouvons que la racine des Phanérogames se rattache à sept types de structure.

(1) *Bot. Zeitung*, 1878, p. 65 (1er février).

(2) Vergleich. Anatom. der Vegetationsorg. der Phanerogamen und Farne. Leipzig, 1877.

A mesure qu'un plus grand nombre de faits ont été observés, les types se sont multipliés. En même temps de nombreux passages ont été signalés entre eux, de sorte qu'il est devenu presque impossible de caractériser clairement l'un ou l'autre de ces types. Les termes de transition sont à peu près aussi fréquents que les cas typiques, et plusieurs auteurs ont signalé des plantes qu'il leur paraissait difficile de réunir à un type plutôt qu'à un autre. Au milieu de ces modifications plus ou moins profondes, il n'est plus possible de reconnaître des caractères généraux, de saisir les traits importants de l'organisation du sommet de la racine. Des sept types dont nous devons la création à M. Treub et à M. Eriksson, trois appartiennent aux Monocotylédones, quatre aux Dicotylédones.

On a tout lieu de croire que tous ces types se distinguent les uns des autres par des caractères de même valeur; il n'en est rien pourtant. Les quatre types Dicotylédones ont entre eux beaucoup de caractères communs et présentent de fréquentes transitions : il n'est pas rare que la racine développée n'appartienne pas au même type que la radicule avant la germination; la radicule a ordinairement une organisation plus nette et plus simple. Peut-on légitimement attacher une grande importance à des caractères qui varient avec l'âge d'un organe? Peut-on les faire servir de base à la définition d'un type, de sorte que les racines de certaines plantes peuvent appartenir à trois types différents, suivant qu'elles sont plus ou moins développées?

Des transitions très-nombreuses se présentent de même entre les trois types Monocotylédones; dans beaucoup de cas, la racine développée est très-différente de la radicule au point de vue qui nous occupe. Je ne puis par conséquent me servir du mot type dans le sens où il a été employé par les auteurs qui m'ont précédé. Je réserve ce nom à l'ensemble des caractères communs à toutes les racines qui présentent les unes avec les autres des transitions, à toutes celles qu'on pourrait facilement réunir dans un même schéma.

De cette façon il serait possible de n'accorder aux modifica-

tions secondaires que la valeur qu'elles méritent; s'il existe quelque part des différences profondes, elles serviraient à définir les types dans leurs rapports les uns avec les autres. Le mot *type* a été employé par les auteurs qui ont étudié le développement terminal de la racine pour désigner des modifications d'ordre tout à fait secondaire; mais depuis longtemps les savants ont compris sous ce nom l'ensemble des caractères communs à toutes les modifications réductibles à un même schéma. C'est dans ce sens, admis par tous les naturalistes, que j'entends employer le mot *type* : il ne pourrait être question, par c nséquent, de désigner un type par le nom d'une plante; une racine ne peut présenter l'ensemble des caractères qu'elle possède et en même temps les modifications plus ou moins légères qui peuvent altérer ces caractères. Un type peut donc comprendre de nombreuses manières d'être; il est formé par l'ensemble de toutes ces modifications.

PLAN DU TRAVAIL. — RÉSUMÉ DES RÉSULTATS.

Il m'a semblé qu'il était temps de chercher à cette question une solution définitive. Je me suis efforcé de la trouver en comparant attentivement les observations réunies sur ce sujet, en les confirmant quand je les ai trouvées exactes, en en montrant l'erreur dans le cas où mes recherches n'ont pas abouti aux mêmes résultats, et en appuyant cette étude critique par l'examen d'un certain nombre de plantes qui n'avaient pas encore été étudiées. Déjà plusieurs des auteurs que j'ai signalés (MM. Prantl, Holle, Eriksson), avaient fait observer que la structure du sommet de la racine diffère avec son âge, que cette structure n'est pas toujours la même dans l'embryon et dans la racine développée. On ne doit pas s'en étonner, quand on réfléchit que l'embryon n'est pas soumis aux influences extérieures. Des caractères d'adaptation se manifestent, il est vrai, jusque dans l'embryon (Gui, Cuscute), mais d'une façon générale tous les embryons ont été soumis dès la fécondation aux mêmes conditions d'existence : développés à l'intérieur du

sac embryonnaire, dans la profondeur des tissus, ils ont été soustraits à l'influence des différents milieux; ils restent protégés contre ces influences, jusqu'au moment de la germination, par les téguments de la graine; ils ont atteint un certain degré de développement; leurs tissus attendent dans un état de repos complet le moment où la germination leur permettra de contribuer à l'évolution de la plante. La radicule doit donc présenter des caractères toujours sensiblement les mêmes pour chaque espèce; on doit s'attendre à ce qu'elle réalise un état plus simple que la racine développée, dans laquelle les tissus, se divisant continuellement par suite du développement incessant, peuvent avoir des caractères plus confus, plus difficiles à saisir.

C'est pourquoi j'ai toujours étudié la radicule dans la graine mûre. Dans beaucoup de cas, du reste, j'ai suivi la radicule au moment de la germination; toutes les observations que j'ai faites dans ce sens ont confirmé l'opinion que je viens d'émettre.

Il eût été plus sûr encore, il est vrai, d'étudier dans un grand nombre de plantes la marche du développement de la racine dans l'embryon à partir de la fécondation, car des résultats identiques sont souvent obtenus dans la nature par des moyens différents; mais pour résoudre absolument de cette manière la question que je me suis proposée, il eût fallu étudier le développement de l'embryon sur un très-grand nombre d'espèces, ce qui eût été extrêmement long; d'autre part, les embryons des plantes, étant, lors de la maturité de la graine, très-diversement développés, m'ont fourni des indications précieuses sur les questions générales de structure. Je pense que l'étude approfondie du développement de l'embryon de quelques espèces bien choisies suffira pour confirmer les points de mes conclusions qui peuvent encore avoir quelque chose d'hypothétique.

J'avais entrepris, il y a près de deux ans, une étude comparative générale du sommet de la racine développée et du sommet de la radicule dans les grandes familles de Phanérogames.

Le mémoire de M. Treub, et, quelques mois après, celui de M. Eriksson, sont venus enlever son importance à l'une de ces deux parties de mon travail.

Comme les données que j'avais obtenues sur le sommet de la racine développée concordent pour la plupart avec les observations de ces auteurs, j'acquis la certitude que ces deux importants mémoires me fourniraient des éléments de comparaison très-suffisants. Dans les cas, peu nombreux du reste, où mes observations diffèrent des leurs, j'aurai soin de le signaler au cours de mon exposition.

Ces travaux, en restreignant le champ de mes recherches, me permettaient d'étendre à un plus grand nombre d'espèces les études que je poursuivais sur la radicule dans l'embryon ; c'est pourquoi j'ai étudié la radicule de près de 350 espèces, appartenant à tous les principaux groupes des Phanérogames, fixant d'une façon particulière mon attention sur les familles ou sur les groupes d'ordre plus élevé, qui présentaient des difficultés spéciales, passant au contraire plus rapidement sur les points qui ont été résolus de la même façon par tous les observateurs. C'est ainsi que je suis arrivé à reconnaître deux modes de structure, deux types autour desquels viennent se grouper un certain nombre de modifications secondaires.

Je n'ai trouvé de différence profonde qu'entre les Monocotylédones et les Dicotylédones; chacun de ces deux modes de structure comprend l'un de ces deux embranchements.

J'ai en vain cherché dans la structure du sommet de la racine des caractères qui pussent servir à confirmer les divisions établies par les classificateurs dans ces embranchements. Je ne puis accepter sur ce point les idées de M. Treub : les plantes les plus voisines par la plupart de leurs caractères diffèrent souvent beaucoup par la structure du sommet de leurs racines; au contraire, des plantes appartenant à des familles très-éloignées présentent des caractères communs. Les Cucurbitacées par exemple, et les Gronoviées, qui en sont très-voisines, présentent au sommet de la racine des caractères très-différents; le sommet de la racine chez les Conifères offre les

mêmes caractères que chez les Césalpiniées et les Mimosées, qui en sont très-éloignées.

Je crois donc que ces caractères anatomiques ne doivent pas être pris en considération pour la classification ; ils pourraient seulement servir à caractériser les Dicotylédones vis-à-vis des Monocotylédones. Je n'ai jamais trouvé de passages entre ces deux embranchements.

Définissons maintenant les deux modes de structure que je considère comme typiques, l'un comprenant toutes les Monocotylédones, l'autre comprenant toutes les Dicotylédones.

Dans les Monocotylédones, comme dans les Dicotylédones, les initiales de chacun des tissus primaires peuvent être spécialisées au sommet ou ne l'être pas ; ce caractère ne doit pas entrer en ligne de compte au point de vue des types à établir, car il varie avec les conditions dans une même espèce.

C'est avant tout le fonctionnement de la coiffe et le rôle des initiales de l'écorce relativement à la formation de l'épiderme et de la coiffe, qui fournissent les principaux caractères distinctifs.

Dans les Monocotylédones, la *coiffe* se régénère indépendamment de l'écorce et de l'épiderme. *Elle paraît être, le plus souvent, en rapport avec l'épiderme à un état très-jeune du développement*, et résulter d'une division tangentielle de l'épiderme, *mais dès lors elle reste absolument indépendante et se régénère par l'activité de sa couche interne.*

L'*épiderme* est ordinairement formé par les initiales de l'écorce; quelquefois il en paraît séparé dès l'état très-jeune ; une fois formé, *il ne donne jamais naissance à la coiffe.*

Dans les Dicotylédones, l'épiderme est, presque toujours, complétement indépendant de l'écorce. *La coiffe est toujours formée par l'écorce ou par l'épiderme de la racine; c'est aux dépens des divisions tangentielles des assises de l'écorce ou de l'épiderme qu'elle se régénère continuellement;* s'il se produit des divisions ultérieures dans les couches de la coiffe une fois formées, elles sont toujours relativement peu fréquentes.

La coiffe est le plus souvent formée par l'épiderme, mais dans

certains cas l'écorce contribue à sa formation ; quelquefois l'écorce la forme tout entière.

REMARQUE SUR LES TERMES EMPLOYÉS POUR DÉSIGNER LES TISSUS PRIMAIRES.

Avant d'aborder l'exposition détaillée des résultats, il est nécessaire que je m'explique au sujet des dénominations appliquées par M. Hanstein et adoptées depuis par la plupart des anatomistes.

M. Hanstein a désigné les tissus primaires par les noms de *plérome*, de *périblème* et de *dermatogène*. Je ne vois pas l'utilité de ces noms spéciaux ; il n'est personne qui, entendant parler des cellules initiales du cylindre central, de l'écorce ou de l'épiderme, s'imagine qu'il puisse être question de différenciations ultérieures. Il est vrai qu'il se produira plus tard dans ces tissus des différenciations ; mais depuis longtemps on est habitué à distinguer sous le nom de tissus primaires ceux qui ne se sont pas encore différenciés.

On a été souvent embarrassé pour définir le point où ces différenciations commencent à se produire. A l'époque où l'on désignait un organe sous le même nom à tous les âges, il n'en résultait pas de difficulté spéciale ; on se contentait de dire qu'à telle ou telle époque les différenciations apparaissent. Comment déterminer à quel moment le plérome devient cylindre central, le périblème écorce, le dermatogène épiderme ? Les différenciations n'apparaissent que successivement ; cette difficulté paraît avoir embarrassé beaucoup d'auteurs. Pour éviter l'erreur au sujet de la limite, la plupart d'entre eux ont conservé aux tissus les noms de plérome, périblème, dermatogène, quel que soit leur âge. Dès lors il me paraît préférable de les rejeter et d'employer des mots connus de tout le monde. Pourquoi rendre sans utilité le langage scientifique incompréhensible par la création de mots nouveaux ? Il n'y a aucun inconvénient à conserver les dénominations anciennes : elles répondent suffisamment à la notion des choses qu'elles expriment.

Ajoutons encore que si les noms donnés par M. Hanstein

s'appliquent facilement à la racine, il n'est pas démontré qu'ils puissent s'appliquer à la tige et à la feuille : leur application à ces organes est, dans tous les cas, plus difficile qu'elle ne l'est pour la racine; le cylindre central de la tige n'est pas aussi nettement délimité vis-à-vis de l'écorce; l'origine du système vasculaire de la feuille est encore moins distincte de l'origine du parenchyme qui en relie les différentes parties.

Puisque, d'une part, ces dénominations n'ont pas rendu plus claire la notion des tissus qu'elles désignent; puisque, d'autre part, il est douteux qu'elles puissent s'appliquer toujours, je conserverai aux tissus primaires de la racine les noms par lesquels on les désignait autrefois, et qu'on leur conserve sans inconvénients lorsque tous les tissus sont développés : cylindre central, écorce, épiderme.

Il faut cependant faire au sujet de l'épiderme quelques remarques spéciales; il a reçu des noms différents de plusieurs auteurs. Cette variété d'appellations résulte de difficultés particulières. M. Hanstein a donné le nom de *dermatogène* aux initiales de l'épiderme, qui, selon lui, ne deviennent épiderme qu'après avoir formé la coiffe; l'exposition détaillée de mes résultats montrera que, dans les Monocotylédones, l'épiderme se spécialise comme tel, dès qu'il est distinct des initiales de l'écorce, que quelquefois même il est distinct jusqu'au sommet; il est donc inutile de lui donner dans ce groupe un nom spécial. Je montrerai aussi plus loin que, dans les Dicotylédones, lorsque l'épiderme forme la coiffe, il est différencié en même temps qu'elle, c'est-à-dire dès l'origine. Il y a donc là une assise d'initiales qui ne deviendront pas l'épiderme, qui sont déjà l'épiderme; à ce titre encore, il me paraît plus nuisible qu'utile de donner au jeune épiderme le nom de dermatogène.

M. de Janczewski a donné à l'épiderme jeune, dans son troisième type (*Helianthus*), le nom d'*assise calyptrogène*; cette appellation me semble encore devoir être rejetée. Dans le cas de l'*Helianthus*, l'épiderme est en effet calyptrogène. Dans les Papilionacées et les Cucurbitacées, l'épiderme est encore

calyptrogène, d'après M. de Janczewski, mais latéralement seulement ; la couche calyptrogène se confond au sommet avec un méristème commun à tous les tissus. Dans les Césalpiniées et Mimosées, pour rester conforme à l'interprétation de cet auteur, nous exprimons la production de la coiffe en disant que des assises calyptrogènes de nombre variable se transforment en assises corticales. La coiffe est donc un organe morphologiquement très-différent suivant les cas. Or, l'épiderme est formé dès le début, dans l'*Helianthus ;* même dans ce cas il ne mérite pas le nom d'assise calyptrogène : l'épiderme est formé en même temps que la coiffe. La coiffe, par son origine extrêmement variée, comme par son fonctionnement, doit être regardée comme un appareil physiologique destiné à protéger le sommet délicat de la racine contre les altérations pouvant résulter du contact du sol. Lorsque la racine ne s'accroît plus, la coiffe disparaît ordinairement (*Hydrocharis*, *Pistia ;* racines bulbeuses de Ficaire, des Ophrydées) ; elle ne doit donc pas entrer en ligne de compte quand il s'agit de préciser les caractères distinctifs de la racine. Elle s'organise de façons très-différentes ; il est inutile de donner aux différents tissus qui la produisent des noms particuliers.

Les observations que je viens de faire au sujet des mots *dermatogène* et *calyptrogène* s'appliquent aussi au nom de *dermato-calyptrogène*. Ce nom a l'avantage de faire ressortir la communauté d'origine de l'épiderme et de la coiffe; mais ce n'est là qu'un cas particulier, on l'a vu plus haut.

Il ne faudrait pas croire cependant que j'attribue à l'épiderme de la racine la même valeur qu'à celui de la tige. L'épiderme de la racine est toujours né sous le tissu de la coiffe ; il forme le plus souvent ou contribue à former la coiffe; il ne devient extérieur qu'à mesure que la coiffe s'exfolie, et ne devient directement protecteur qu'après l'exfoliation, tandis que l'épiderme de la tige est exclusivement protecteur dès le début.

L'épiderme de la racine diffère encore de celui de la tige par la formation des poils d'absorption, qui en font un appareil de

nutrition en même temps qu'un appareil de protection; ni cette différence entre l'épiderme de la racine et celui de la tige, ni aucune des raisons que je viens de discuter ne me paraît suffisante pour mériter à l'épiderme de la racine un nom particulier. Je lui conserverai donc son nom, comme je le conserve aux autres tissus.

MANIÈRE DE PRÉPARER LES COUPES.

Lorsqu'on veut étudier le point végétatif de la racine, il est essentiel, avant tout, d'en obtenir des coupes axiales; il est bon d'en réunir un certain nombre à la fois pour rejeter celles qui ne sont pas satisfaisantes et pour comparer les autres entre elles.

Pendant les premiers mois de mes recherches, j'employais ordinairement le procédé usité par M. Hanstein : je plongeais pendant plusieurs heures les coupes dans une solution plus ou moins étendue de potasse, et, après les avoir lavées dans l'eau, je les traitais par l'acide acétique et quelquefois par l'éther. Ces manipulations exigent beaucoup de temps ; on ne peut cependant observer les coupes qu'après les avoir faites successivement. C'est alors seulement qu'on peut juger de leur valeur. En outre les coupes acquièrent, par suite de ces manipulations, une transparence très-grande, qui rend l'observation difficile; on ne peut y remédier qu'imparfaitement, au moyen de l'alun.

Plusieurs questions délicates étaient, malgré tous mes efforts, restées sans solution, lorsque parut le mémoire de M. Treub. Dès lors j'appliquai avec avantage le procédé employé par cet auteur. Ce procédé consiste à placer les coupes dans un verre de montre ou une petite capsule de porcelaine avec une ou deux gouttes d'eau; on recouvre la goutte d'un peu de chlorure de calcium sec en poudre; on fait chauffer lentement sur une petite flamme, jusqu'à ce que la dessiccation soit à peu près complète; on soustrait aussitôt les coupes à l'action de la flamme, et l'on ajoute quelques gouttes d'eau, qui dissolvent le chlorure de calcium. Les coupes nagent immédiatement dans

l'eau ; il suffit de les recueillir et de les placer dans la glycérine, où elles atteignent après quelques heures une transparence suffisante. Ce traitement a pour effet, non pas de dissoudre tout ce que contiennent les cellules, mais d'assombrir leur contenu, en épaississant légèrement les parois primitivement très-minces ; ces parois deviennent en même temps claires et brillantes. L'opacité du contenu cellulaire empêche d'étudier en même temps et de confondre plusieurs plans de cellules : c'est là un grand avantage, qu'on ne peut pas réaliser avec les méthodes employées précédemment ; depuis que je l'emploie, j'ai pu résoudre les questions que je n'avais pu trancher jusque-là. Dans tous les cas, ce procédé m'a permis d'atteindre plus rapidement qu'autrefois le résultat de mes recherches.

MONOCOTYLÉDONES (1).

GLUMACÉES.

Graminées. — La racine des Graminées a été l'objet de nombreuses observations ; beaucoup d'entre elles concordent absolument avec celles qui vont suivre, je me dispenserai donc d'entrer dans de grands détails.

MM. Hanstein et Reinke, et plus tard M. Hegelmaier, rapportent la racine des Graminées au type de l'*Helianthus*. M. Bruchmann y trouve quatre tissus primaires. MM. Prantl et Hieronymus, chacun de leur côté, reconnaissent que la coiffe

(1) Il m'importait peu d'adopter telle ou telle méthode de classification pour exposer mes recherches. J'ai suivi celle qui a été appliquée par M. Brongniart à l'école de botanique du Muséum ; j'ai choisi cette méthode, parce qu'elle a été employée par la plupart des anatomistes français pour exposer les résultats de leurs recherches depuis quelques années. Je me permettrai seulement de m'écarter de la classification de M. Brongniart en un point de nomenclature ; je ne crois pas devoir nommer *classes* les groupes de familles auxquels il a donné ce nom. Ce mot n'a pas été adopté généralement, et était depuis longtemps employé en zoologie pour désigner des groupes plus considérables ; le mot *cohorte*, proposé en 1867 par le Congrès botanique de Paris, ne me paraît pas non plus avoir été appliqué depuis : je crois donc pouvoir désigner les classes de M. Brongniart p a le mot *ordre*, qui a l'avantage de désigner en zoologie des groupes à peu près de même valeur que ceux auxquels M. Brongniart a appliqué le mot *classe*.

n'est pas formée par le dédoublement de l'épiderme; que celui-ci doit être considéré comme la couche extérieure de l'écorce. Les recherches de M. de Janczewski et de M. Treub confirment les résultats acquis par ces observateurs, et je ne puis guère que répéter ce qui a été dit avant moi sur ce sujet. En effet, l'étude de la racine principale de l'embryon au moment de la maturité de la graine ne m'a révélé, au point de vue qui nous occupe, aucune différence avec la racine développée.

Dans le *Zea Mays* L., par exemple, dont la racine a été décrite et figurée d'une façon très-exacte par M. de Janczewski, on trouve déjà les mêmes caractères avant la germination. Le cylindre central, épais, présente au sommet un groupe de quelques cellules, qui se différencient peu à peu et d'une façon générale de l'extérieur vers l'intérieur. Tout au sommet, il y a tantôt deux, tantôt trois cellules qui, par une première division tangentielle, forment l'assise péricambiale; cette assise n'est jamais continue au sommet. Il ne me paraît pas possible de déterminer un ordre d'accroissement des différentes couches du cylindre central. Quelques-unes des plus extérieures se divisent en direction vaguement centrifuge, mais toute la partie médullaire et une portion de la partie procambiale se divisent d'une façon tout à fait irrégulière. Je crois avec M. de Janczewski que les files de larges cellules, origines des gros vaisseaux rayés, se développent plus ou moins directement aux dépens des deux ou trois initiales; au contraire le tissu médullaire est formé par un groupe de cellules issues des premières, situées plus profondément, et qu'on peut considérer comme des initiales du second ordre (1).

L'écorce est ordinairement réduite au sommet à trois initiales, quelquefois à deux. L'épiderme est formé par une première division de ces initiales et ne se divise plus par la suite dans le sens tangentiel; ses cellules s'accroissent au contraire très-rapidement dans le sens radial, et prennent des caractères

(1) Voy. de Janczewski, *De l'accroiss. term.*, pl. IV, fig. 7. — J. Sachs, *Traité de Botan.*, 3e édit., trad. franç., fig. 112. — Treub, *loc. cit.*, pl. VI, fig. 25.

anatomiques qui les distinguent de toutes les autres; elles ne tardent pas à se cuticulariser extérieurement. Au-dessous de l'épiderme, l'écorce se développe peu à peu, la partie externe en direction centrifuge, la partie interne, moins épaisse que la précédente, en direction centripète. L'assise la plus interne de l'écorce (assise protectrice ou endoderme) se trouve ainsi différenciée très-tard. Grâce à cette différenciation tardive, il est toujours facile de la distinguer de l'assise péricambiale, différenciée au contraire de très-bonne heure.

La coiffe est, dans les Graminées, absolument indépendante de l'épiderme de la radicule. Elle dépend de la gaîne radiculaire; elle en est une partie intégrante, car il est impossible, avant la germination, de trouver une limite entre la gaîne et la coiffe, si ce n'est toutefois par la présence de méats intercellulaires qui existent entre les cellules de la gaîne, et qu'on ne trouve pas entre celles de la coiffe. Je n'ai pas retrouvé ce caractère dans les autres Graminées que j'ai observées; on n'y distingue en général les cellules futures de la coiffe que parce qu'elles sont gorgées de protoplasma, tandis que celles de la gaîne sont remplies d'amidon; elles sont d'ailleurs intimement unies les unes aux autres. Au moment de la germination, la partie de la gaîne située dans l'axe de la racine, sollicitée par la pression de la radicule qui s'allonge, se sépare des parties latérales, se déchire et demeure au sommet de la radicule, tandis que le reste de la gaîne forme la coléorhize. Dès lors cette portion terminale de la gaîne forme la coiffe; les séries cellulaires qui la constituent sont orientées suivant la direction de l'axe et ne sont pas disposées concentriquement; ces files verticales s'exfolient successivement vers l'extérieur, après avoir perdu plus ou moins leur disposition en files verticales, par suite de leur accroissement irrégulier. Mais dans leur partie profonde, appuyée contre les initiales de l'écorce, chaque file se régénère individuellement, il n'y a pas en réalité de couche calyptrogène; il y a une masse de cellules calyptrogènes dont chacune est initiale d'une série longitudinale de la coiffe. Par suite du mode d'exfoliation latérale de la coiffe, il est néces-

saire que les files verticales se dédoublent longitudinalement, pour conserver à la coiffe l'épaisseur nécessitée par les dimensions du sommet de la racine qu'elle recouvre. On voit en effet se produire de fréquentes divisions longitudinales dans les files de la coiffe ; mais ces divisions ne paraissent pas régulières. On peut seulement affirmer qu'elles commencent dans des cellules extérieures de chaque file pour se rapprocher de la partie profonde ; de là résulte la forme triangulaire que les auteurs ont signalée au sujet de la coiffe des Graminées.

Il me semble intéressant de remarquer que, dans les Graminées, la coiffe est complétement indépendante de la racine ; que des méristèmes d'origine très-différente, formés dans le voisinage l'un de l'autre, s'accroissent en se divisant chacun dans un sens opposé, l'un pour former le corps de la racine, l'autre pour former la coiffe.

Si nous jetons un coup d'œil sur la radicule des autres Graminées examinées, nous verrons qu'en général, lorsque la radicule est moins volumineuse, le nombre des initiales de l'écorce est réduit à deux (*Andropogon cernuus* Roxb., *Oryza sativa* L., *Coix Lacryma* L., *Tripsacum dactyloides* L., *Avena sativa* L.). Le développmeent de la coiffe est aussi en rapport intime avec le diamètre de la racine qu'elle recouvre. M. de Janczewski représente d'une façon fort exacte (1) la structure du pivot de l'*Hordeum vulgare* L., qui ressemble à celui de l'*Avena sativa*. Je n'ai rien à ajouter non plus à la figure donnée par M. Treub du sommet de la racine embryonnaire du *Brachypodium gracile* (2). Je puis donc, en renvoyant à ces figures, me dispenser de les reproduire.

Mais il me paraît intéressant de jeter un coup d'œil sur le développement des radicelles du Maïs, qui a été étudié par M. de Janczewski. D'après cet auteur, les cellules péricambiales qui donnent naissance à une radicelle se divisent en deux par une cloison tangentielle : de l'assise interne ainsi formée proviendra le cylindre central ; de l'externe, l'écorce de

(1) De Janczewski, *loc. cit.*, pl. IV, fig. 4.
(2) Treub, *loc. cit.*, pl. VI, fig. 25.

la radicelle; *les cellules terminales de l'écorce forment l'assise calyptrogène*. L'endoderme de la racine mère se divise aussi tangentiellement; *toute sa partie terminale forme la coiffe* de la radicelle : celle-ci est donc formée en partie par l'endoderme, en partie par l'assise péricambiale. Elle a une origine double. Nous reviendrons plus tard sur ce fait (1).

La portion d'endoderme qui recouvre les parties latérales de la radicelle contribue aussi, par des divisions tangentielles, à l'accroissement de l'écorce, et forme une partie de l'épiderme, dont l'autre partie est formée par un dédoublement de l'assise péricambiale au-dessous de l'assise calyptrogène.

L'assise calyptrogène a, par conséquent, la même origine que l'écorce; elle est formée, comme l'écorce, par le péricambium, mais elle en devient de très-bonne heure indépendante.

Examinons d'autre part les dessins de M. Hanstein; cherchons à saisir l'origine de la coiffe dans l'embryon du *Brachypodium* (2). Tous les détails donnés par cet auteur paraissent démontrer que le début de la coiffe est une dépendance intime de la gaîne radiculaire, qu'elle est au contraire, dès l'origine, distincte de la racine. Je n'ai pu songer à suivre le développement de l'embryon des Graminées pour élucider ce point; mais je crois qu'on peut conclure d'une façon générale, de la comparaison que je viens de faire entre l'étude de M. de Janczewski sur les radicelles et celle de M. Hanstein sur le développement de la racine principale des Graminées, que la *coiffe a des origines très-différentes dans les différents cas*. Ce fait suffirait à lui seul, à prouver que *la coiffe n'a qu'une valeur physiologique, et qu'elle ne doit pas être considérée quand il s'agit de définir anatomiquement la racine*.

Cypéracées. — M. Treub décrit le sommet de la racine de quelques Cypéracées (3), et notamment du *Carex riparia*, dont il donne un dessin; il confirme les données générales posées

(1) Comp. de Janczewski, *Développement des radicules*, p. 49, et pl. XVIII, fig. 3-6.

(2) Comp. Hanstein, *Entwickl. des Keimes*, p. 47, et pl. XV-XVIII.

(3) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 35, et pl. VI, fig. 24; pl. VIII, fig. 31-33.

par M. Hieronymus au sujet de la racine des Cypéracées, et décrit sa structure en détail.

L'étude attentive que j'ai faite de la radicule de trois espèces de *Carex* me permet d'affirmer l'exactitude de ces caractères généraux ; mais la radicule diffère de la racine développée décrite par M. Treub.

Dans le *Carex depauperata* Good., que je prends pour exemple, le cylindre central, comme l'a montré M. Treub, ne se rétrécit guère au sommet ; il se termine assez brusquement par une surface courbe, formée par un groupe assez large d'initiales, aux dépens desquelles le péricambium se forme latéralement ; le reste du cylindre central paraît se diviser sans aucune régularité. On ne voit pas encore trace de vaisseaux (fig. 1).

L'écorce du *C. depauperata* se réduit dans l'embryon à deux initiales, un peu plus grandes que les cellules voisines ; il y en a ordinairement 4-5 à l'extrémité de la racine développée. L'épiderme se sépare le premier des initiales ; le reste de l'écorce se développe en deux directions, l'écorce externe en direction centrifuge, l'écorce interne en direction centripète ; de sorte que l'endoderme n'est différencié que loin du sommet. Dans le *C. secalina* Wahl, et *C. Grayi* Steud., qui ont un embryon un peu plus grand que celui du *C. depauperata*, il y a fréquemment trois initiales de l'écorce, mais je n'en ai jamais trouvé davantage.

La coiffe est intéressante à étudier dans l'embryon du *C. depauperata*. Au lieu d'être composée de séries verticales, comme dans la racine développée, elle est formée de couches disposées concentriquement autour du sommet de l'écorce. Ces couches sont en petit nombre d'ailleurs ; il n'y en a dans le *C. depauperata* que quatre, dont l'interne se dédouble de façon à former le début d'une nouvelle couche. La couche extérieure, la plus étendue des quatre, s'appuie latéralement contre l'une des cellules de l'épiderme et paraît avoir été formée par une division tangentielle de cette cellule épidermique à une époque antérieure du développement de l'embryon. M. Hegelmaier,

étudiant le développement de l'embryon monocotylé, montre pour le *Sparganium ramosum* et le *Pistia Stratiotes*, que la coiffe est formée par une division tangentielle de l'épiderme immédiatement après la différenciation de la couche épidermique (1) ; il montre aussi que la première couche de coiffe ainsi formée se divise successivement par sa face interne pour former toute la coiffe en direction centripète, sans que l'épiderme y contribue jamais (2). Je n'ai pu étudier le développement de l'embryon, mais je crois qu'une comparaison des figures données par M. Hegelmaier, et du dessin de la radicule (fig. 1), indique nettement les mêmes rapports d'origine. Ce dessin montre aussi que l'assise extérieure de la coiffe se divise bientôt vers l'intérieur ; que la couche interne formée par ce dédoublement se divise elle-même en deux assises, dont l'interne se divise de nouveau par des cloisons tangentielles, contre le sommet de l'écorce ; de plus, l'assise externe, ou la seconde assise à partir de l'extérieur, s'est dédoublée pour former la couche qui, dans le prolongement de l'axe, se trouve immédiatement au-dessous de la couche extérieure. Dans le *C. Grayi*, la coiffe a une couche de plus que dans le *C. depauperata*.

Telle est la structure de la coiffe au moment de la maturité. Je crois qu'elle peut nous faire apprécier les rapports réels de la coiffe avec les tissus sous-jacents, et bien qu'elle ne diffère pas essentiellement de celle figurée par M. Treub, elle permet de prévoir que l'on peut trouver des différences notables entre la racine développée et la racine principale de l'embryon.

JONCINÉES.

Joncées. — On ne possédait, il y a quelques mois encore, que bien peu de documents sur l'ordre des Joncinées. M. Hieronymus avait cru reconnaître aux Centrolépidées les caractères essentiels de l'*Helianthus* ; mais il paraît avoir abandonné ; depuis sa première opinion. M. Fleischer place le *Juncus glaucus*

(1) Voy. page 9.
(2) Voy. Hegelmaier, *loc. cit.*, fig. 31-33 et fig. 59.

et le *Luzula multiflora* dans le premier type de M. de Janczewski ; je ne partage pas sur ce point l'avis de cet auteur. M. Treub a observé le *Luzula pediformis* et une espèce de *Juncus*.

J'ai étudié la racine embryonnaire du *Luzula pediformis* DC. avant la germination, et bien que cette racine soit fort petite, je puis dire que dans les Monocotylédones je n'ai vu nulle part plus nettement qu'ici trois tissus primaires : le cylindre central, l'écorce et la coiffe.

Le cylindre central s'amincit un peu au sommet, et s'y termine par un assez grand nombre de cellules qui se divisent irrégulièrement à mesure que le tissu s'épaissit ; le péricambium est, sinon la première, du moins l'une des premières assises différenciées.

M. Treub a constaté au sommet de la racine 7-8 initiales de l'écorce (1). Au sommet de la radicule, je n'en ai jamais observé que deux, très-régulières, un peu plus grandes que les cellules qui en proviennent. La première division tangentielle forme l'épiderme ; la partie externe de l'écorce se développe en direction centrifuge, la partie interne en direction centripète. La coiffe a les mêmes rapports avec l'épiderme que dans le *Carex* (fig. 1) ; la couche extérieure se divise par sa face interne en deux couches dont la plus interne se divise de nouveau, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la coiffe soit formée, au moment de la maturité, de 6 ou 7 couches se recouvrant régulièrement.

Mes observations diffèrent de celles de M. Treub en ce qu'il a constaté au sommet de la racine développée 7 ou 8 initiales de l'écorce. Cette dissemblance s'explique facilement, je crois, par le développemet différent des racines étudiées par nous. Elle confirme l'opinion que j'ai formulée plus haut, à savoir, qu'on trouve à la racine embryonnaire une structure plus simple qu'à la racine développée (2).

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 12, et pl. I, fig. 1 et 2.

(2) Comparez cette description à la figure 1, avec laquelle celle que je pourrais donner de la radicule du *Luzula pediformis*, présente les plus grands rapports.

Commélynées. — Il y a fort peu de temps, M. de Solms-Laubach publiait une courte note sur l'embryon des Monocotylédones (1); il traite en particulier de la structure de l'embryon des Commélynées, ce qui me dispensera d'entrer dans le détail des intéressantes particularités qu'il décrit au sujet de la germination.

M. Treub a observé la racine développée du *Tradescantia discolor*, et du *Spironema fragrans* (2). Je n'ai pu étudier l'embryon d'aucune de ces deux plantes ; mais j'ai étudié la racine développée du *Commelyna tuberosa* L., qui me permet de confirmer les résultats acquis par M. Treub. Comme l'a dit M. de Solms-Laubach, à l'extrémité radiculaire de l'embryon, terminée en cône très-court, le début d'une racine se trouve caché sous une gaîne homogène de parenchyme.

Les coupes axiales de ce petit embryon montrent les caractères de la racine primaire ; elle ressemble beaucoup à celle du *Tinnantia* figurée par M. de Solms-Laubach (3).

Le cylindre central est formé d'un petit groupe de quelques cellules qui latéralement forment le péricambium, et à l'intérieur développent sans régularité appréciable les couches du cylindre central (fig. 2).

En dehors de ce groupe interne, arrondi au sommet, se trouvent les initiales de l'écorce, au nombre de trois, une médiane et deux latérales. Des deux latérales naît d'abord de chaque côté l'épiderme, puis le début de l'écorce, dont la partie externe se développe en direction centrifuge, tandis que la partie interne est produite en direction centripète. L'épiderme, en s'éloignant des initiales, se différencie peu à peu ; ses cellules s'allongent dans le sens radial, mais la radicule étant très-courte, l'épiderme perd ses caractères à peu de distance du sommet ; au lieu de se continuer avec l'épiderme de la tigelle, il est en rapport avec les assises parenchymateuses qui forment l'écorce, et qui, se prolongeant en dehors de l'épiderme, lui constituent

(1) *Botan. Zeitung*, 1er févr. 1878.

(2) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 39, et pl. VI, fig. 26.

(3) *Loc. cit.*, fig. 17.

une gaîne radiculaire tout à fait comparable à celle des Graminées (fig. 2).

A peine l'embryon commence-t-il à germer, que déjà les caractères de la radicule ne sont plus les mêmes; au moment où l'opercule est soulevé par la radicule qui s'allonge, celle-ci s'est déjà un peu épaissie.

Le cylindre central s'est élargi, un peu aplati au sommet; le groupe d'initiales est plus considérable, mais il se développe encore avec la même irrégularité que précédemment. L'écorce n'a pas encore pris un plus grand accroissement que tout à l'heure; le groupe d'initiales de l'écorce s'est seul élargi; il se compose maintenant de quatre cellules situées en une seule couche les unes à côté des autres. Les cellules de la gaîne radiculaire n'ont pas subi de grands changements; dans les parties latérales cependant, elles commencent à se dissocier et sont séparées par de larges méats (fig. 3).

Dès lors la racine s'allonge très-rapidement; la gaîne radiculaire se déchire autour de la base de la racine, et toute la masse de cellules qui recouvrait le sommet fonctionne dès lors comme coiffe. La gaîne tout entière devient donc la coiffe dans ce cas; en même temps tous les tissus s'accroissent rapidement en longueur aux dépens des initiales. Celles-ci ne se modifient guère; celles de l'écorce deviennent pourtant plus nombreuses, elles atteignent le nombre de 5 ou 6. Ces observations comparatives du développement de la racine sont intéressantes, en ce qu'elles nous montrent déjà suffisamment que dans une même espèce, les caractères du sommet végétatif peuvent être différents aux divers états de la racine.

AROIDÉES.

Aracées. — Les travaux de M. de Janczewski et de M. Treub nous ont fourni sur cette famille des détails fort intéressants.

C'est aux Aracées qu'appartient l'un des deux exemples connus jusqu'ici du premier type de M. de Janczewski, le *Pistia Stratiotes* L., dont cet auteur a observé la structure sur des radicelles. J'ai vérifié ces observations, et je les ai trouvées

exactes en tous les points. M. Treub les a étendues au sommet des racines adventives.

Il y a au sommet de la racine du *Pistia* quatre tissus primaires : la coiffe, l'épiderme, l'écorce et le cylindre central ; la chose est absolument incontestable. Cette racine diffère donc d'une façon très-importante de la plupart des autres racines de Monocotylédones étudiées par M. de Janczewski, et c'est ce qui l'a déterminé à créer pour elle et l'*Hydrocharis* un type particulier.

Il eût été fort intéressant d'étudier la racine embryonnaire de cette plante ; mais je n'ai pas eu d'embryons à ma disposition. Elle a été étudiée, il est vrai, par M. Hegelmaier (1) ; il y aurait selon lui trois tissus primaires : un cylindre central, une écorce, un épiderme engendrant la coiffe. Le dessin qu'il en donne, paraît montrer en effet que la coiffe a, dans l'embryon du *Pistia*, les mêmes rapports avec l'épiderme que dans le *Carex* ou dans le *Sparganium*. Après la séparation d'une première couche de coiffe, celle-ci deviendrait absolument indépendante. D'après cette même figure, l'épiderme serait, dès l'état embryonnaire, indépendant de l'écorce ; mais on verra bientôt, au sujet du *Sparganium*, que mes observations personnelles, et celles de M. Treub n'ont pas confirmé celles de M. Hegelmaier en ce qui concerne la séparation de l'épiderme d'avec l'écorce. Je ne puis donc accepter complétement les résultats acquis par M. Hegelmaier sans la vérification que je n'ai pu obtenir jusqu'ici. Cependant je dois dire que la description fort intéressante que donne M. de Janczewski du développement des radicelles de cette plante est un appui considérable pour l'opinion de M. Hegelmaier (2). Il résulte de cette description (3) que le cylindre central et l'écorce de la radicelle sont formés par le péricambium de la racine mère, que l'épiderme et la coiffe résultent tous deux d'une division tangentielle de l'endoderme de la

(1) Hegelmaier, *loc. cit.*, fig. 59.

(2) C'est avec intention que je passe sous silence l'opinion de M. Reinke M. de Janczewski a suffisamment montré qu'elle est erronée.

(3) Voy. de Janczewski, *Développem. des radicules*, p. 43, et pl. XVII, fig. 1-6

racine mère. *L'épiderme est donc*, dans ce cas, *complétement indépendant de l'écorce.* S'il en est de même dans l'embryon, comme semblerait le prouver le travail de M. Hegelmaier, il est bien certain qu'on ne peut, dans le *Pistia*, considérer l'épiderme comme le résultat d'une division tangentielle qui, arrêtée d'ordinaire aux cellules voisines des initiales de l'écorce, aurait intéressé ces initiales elles-mêmes. Il paraît donc y avoir, entre cette plante et les autres Monocotylédones étudiées jusqu'ici, une différence profonde au point de vue des rapports de l'épiderme avec l'écorce, mais il resterait entre elles ce caractère commun, que chez les unes comme chez les autres, *la coiffe peut dépendre de l'épiderme, mais par son origine seulement, et que lorsqu'elle en dépend, elle s'en sépare dès le début pour fonctionner aussitôt indépendamment.*

Privé des matériaux nécessaires pour donner à ce point une solution rigoureuse, j'ai examiné un certain nombre d'autres plantes de la même famille. Les racines adventives d'*Acorus Calamus* appartiennent, d'après M. Janczewski, à son deuxième type. M. Treub place les Aroïdées d'une façon générale dans son troisième type, c'est-à-dire qu'il admet des initiales communes à l'écorce et à la coiffe, et des initiales propres au cylindre central. Ses recherches ont porté sur huit espèces. Constatons cependant que l'opinion de M. Treub laisse quelque doute :
» Dans la plupart des racines que j'ai étudiées, dit-il, je n'ad-
» mets la présence d'initiales communes que parce que je n'ai
» pas réussi à y observer des initiales propres au périblème,
» distinctement séparées de la coiffe (1). » Dans quelques cas cependant, il y a positivement des initiales communes.

J'ai étudié de mon côté la radicule de trois plantes : *Calla palustris* L., *Arum vulgare* Lamk, *Arum Dracunculus* L. Ces embryons sont généralement assez volumineux, relativement à celui des autres Monocotylédones que nous avons étudiées, sauf les Graminées. Les tissus sont aussi beaucoup moins nets au sommet que dans la plupart des cas que nous avons décrits.

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 31.

Dans le *Calla palustris*, par exemple (fig. 4), le cylindre central est distinct jusqu'au sommet; il s'y termine par une file médiane de larges cellules, et latéralement par des files plus étroites dont l'extérieure est le péricambium, et qui sont réduites finalement à une cellule de chaque côté de la file centrale.

L'écorce est très-épaisse, formée de files de larges cellules; les plus extérieures se divisent en direction centrifuge jusqu'à une certaine distance du sommet où le développement devient fort irrégulier; les files internes se divisent quelque peu en direction centripète. Au sommet la division des files de l'écorce est irrégulière. Elles se réduisent enfin à deux initiales assez grandes, aplaties; mais la couche cellulaire externe issue de ces initiales se divise encore tangentiellement à quelque distance du sommet et ne peut pour cela être considérée jusqu'au sommet même comme un véritable épiderme (fig. 4). On reconnaît, dès qu'il est différencié, qu'il ne contribue en aucune façon à former la coiffe; celle-ci est appuyée par ses bords contre l'épiderme, comme dans le *Carex depauperata;* elle est aussi formée de couches concentriques, mais irrégulières, et les parties les plus profondes sont nettement disposées en séries verticales : le développement de la coiffe est centripète, c'est-à-dire qu'elle se régénère par sa partie profonde. Au point de vue anatomique, les initiales de l'écorce ne diffèrent pas des cellules profondes de la coiffe, et il n'est pas toujours facile de les distinguer.

L'embryon de l'*Arum vulgare* Lamk a la même structure générale; il est difficile d'y distinguer la limite entre le cylindre central et l'écorce; de même que dans le *Calla*, l'épiderme n'est pas différencié dès la première division des initiales de l'écorce. La coiffe est un peu plus épaisse que celle du *Calla;* ses couches sont divisées encore moins régulièrement; aussi ne puis-je affirmer dans ce cas qu'il n'y ait pas confusion entre les deux cellules terminales de l'écorce et les assises profondes de la coiffe. Par ses bords, la coiffe est en rapport avec l'épiderme.

L'*Arum Dracunculus* L. présente aussi les mêmes caractères généraux; l'épiderme n'y est pas non plus différencié dès

la première division des initiales de l'écorce; la coiffe est épaisse, irrégulière, en rapport avec l'épiderme par ses bords, un peu moins délimitée que dans l'*A. vulgare* vis-à-vis des initiales de l'écorce; mais les initiales de l'écorce sont moins distinctes que dans l'*A. vulgare* vis-à-vis des initiales du cylindre central; quelquefois cette limite m'a paru nette, mais il m'est arrivé de trouver une des initiales de l'écorce dédoublée tangentiellement; sa partie interne paraissait alors aussi bien en rapport avec le cylindre central qu'avec l'écorce.

En résumé, je ne puis rattacher nettement au deuxième type de M. de Janczewski que le *Calla palustris*, et je constate que l'*Arum vulgare* et l'*Arum Dracunculus* présentent au sommet végétatif de leur racine une certaine confusion des tissus. Cette confusion me paraît due surtout à l'irrégularité des divisions radiales aussi bien que tangentielles et à la différenciation tardive de l'épiderme; elle me semble consécutive de l'irrégularité de ces divisions; et ce qui tend à le prouver, c'est qu'elle est en général plus considérable dans la racine développée.

Typhacées. — M. Hegelmaier est d'avis que le *Sparganium ramosum* appartient au premier type de M. de Janczewski, mais le dessin qu'il donne de l'embryon mûr ne me paraît pas représenter une coupe axiale (1). Jamais je n'ai vu au sommet de la radicule de cette plante un épiderme indépendant. M. Treub ne l'a jamais observé non plus au sommet de la racine développée (2).

Les recherches que j'ai faites sur la radicule de l'embryon diffèrent cependant un peu de celles de M. Treub. La radicule du *Sparganium ramosum* Smith présente de grands rapports avec celle du *Carex* (fig. 1). Le cylindre central est beaucoup plus étroit, et le péricambium pourrait à la rigueur être considéré comme une couche continue, quoique je ne pense pas qu'il faille la concevoir ainsi. L'écorce est plus large que celle du *Carex;* son développement est principalement centripète;

(1) Voy. Hegelmaier, *Botan. Zeitung*, 1874, p. 631 et fig. 33.
(2 Treub, *loc. cit.*, p. 34, et pl. v, fig. 23.

les files cellulaires extérieures se divisent irrégulièrement ; les initiales de l'écorce sont au nombre de trois ou quatre, à peine plus grandes que les initiales du cylindre central qu'elles recouvrent, mais nettement distinctes des assises profondes de la coiffe, qui sont plus aplaties que dans le *Carex*. A part ces quelques différences, la radicule du *Sparganium* ressemble en tout point à celle du *Carex*.

M. Treub n'a pas trouvé au sommet de la racine développée des caractères aussi nets. La figure 23 de son mémoire montre que l'épiderme est moins distinct de la coiffe, que les initiales de l'écorce sont plus irrégulières. Je pense, grâce aux caractères qu'offre la radicule, pouvoir ramener sans hésitation le *Sparganium* au deuxième type de M. de Janczewski.

Quant au *Typha angustifolia* L., dont M. Treub a aussi étudié la racine développée, il fait observer qu'elle ressemble beaucoup à celle des Cypéracées. J'ai pu observer le petit embryon de cette plante, grâce au procédé employé par M. Treub. Il présente trois tissus primaires très-distincts : un cylindre central très-étroit, une écorce dont le développement est surtout centripète et qui a ordinairement trois initiales, une coiffe peu développée, qui paraît, comme dans le *Carex*, formée tout d'abord par une division de l'épiderme pour devenir dès ce moment indépendante.

Dans le *Sparganium*, aussi bien que dans le *Typha*, les cellules de la coiffe sont disposées en couches concentriques et non pas en files verticales.

PHŒNICOIDÉES (1).

Palmiers. — Si l'on étudie l'embryon du *Phœnix dactylifera* L., on reconnaît que l'extrémité radiculaire est fort réduite, qu'elle se compose seulement d'un cône très-court de parenchyme dans lequel l'étude anatomique révèle l'absence

(1) Je n'ai pu étudier l'embryon d'aucune plante de l'ordre des Pandanoïdées. D'après les observations de M. Treub sur le *Pandanus furcatus* et sur le *Cyclanthus cristatus*, le sommet végétatif de la racine développée aurait de grands points de ressemblance avec celui des Palmiers, dont nous allons nous occuper.

presque complète de différenciation (1). L'épiderme qui recouvre le cotylédon n'est pas interrompu vers l'extrémité radiculaire, et recouvre l'embryon tout entier sans subir aucune division tangentielle (fig. 5). Le tissu cortical, caractérisé dans le cotylédon par de nombreux méats, s'amincit sous la gemmule sans perdre le caractère qui le distinguait plus haut, et se centralise en une masse de cellules irrégulières et sans méats; il s'y confond absolument avec le tissu procambial; il n'y a aucune distinction entre les tissus à ce sommet végétatif.

Au point où le parenchyme cortical s'amincit pour se réunir avec le tissu procambial, il reste en dehors de lui une véritable coiffe formée de cellules disposées irrégulièrement en couches; elles ne se distinguent des assises corticales qu'elles recouvrent que par l'absence de méats. Il n'y a entre ces deux tissus aucune autre différenciation; l'épiderme du cotylédon se prolonge au-dessus de cette coiffe.

Le *Cocos* (sp.) que j'ai étudié a un embryon un peu plus volumineux que celui du *Phœnix*, mais ses caractères anatomiques sont les mêmes; il en est de même du *Trachycarpus Fortunei* et du *Sabal Adansonii*.

Fait-on germer la graine du *Phœnix dactylifera* ou du *Cocos*, l'accroissement des tissus porte tout d'abord sur le pétiole cotylédonaire; l'extrémité radiculaire, sollicitée par cet accroissement, soulève l'opercule et apparaît au dehors; mais elle ne subit encore d'autre modification qu'un léger accroissement intercalaire. C'est seulement quand le pétiole a atteint 4 ou 5 millimètres, que l'extrémité radiculaire commence à s'allonger fortement; le tissu extérieur au parenchyme cortical s'exfolie dès lors en commençant par l'épiderme, qui recouvrait même le sommet et fonctionne comme coiffe.

Le groupe de cellules de méristème fonctionne aussi dès ce

(1) M. de Mirbel, dans ses *Notes sur le cambium, etc.* (*Mém. Acad. Sc.*, t. XVIII, 1842), et dans son *Mémoire sur l'anatomie de la racine du Dattier* (1839), traite seulement de la formation des éléments anatomiques aux dépens du cambium, qu'il considère comme une matière amorphe remplissant les méats ou les cellules elles-mêmes.

moment, une différenciation s'y produit peu à peu : le péricambium apparaît, formant ainsi une limite nette au cylindre central jusque près du sommet; dès ce moment la racine du *Phœnix* acquiert tous les caractères que M. Treub a indiqués pour la racine du *Cocos flexuosa*. (1) L'embryon témoignait un manque absolu de différenciation; la racine développée témoigne qu'il n'y a pas de spécialisation des initiales au sommet. La coiffe reste assez longtemps confondue avec l'écorce; la racine a plusieurs millimètres de longueur lorsqu'une assise prend, à l'extérieur du parenchyme cortical à méats, les caractères d'un épiderme. Cet épiderme, formé de cellules allongées dans le sens radial, ne contribue en aucune façon à former la coiffe; celle-ci fonctionne indépendamment, sauf au sommet, où jamais l'épiderme n'atteint les initiales. Il y a réellement toujours au sommet un groupe d'initiales communes. Les cellules de la coiffe, tout d'abord disposées en couches, s'étendent beaucoup dans le sens de l'axe et forment maintenant des séries verticales très-développées.

Il me semble que la coiffe que je viens de décrire, recouverte tout entière par l'épiderme général de l'embryon, doit être considérée comme une gaîne radiculaire. Mais comme l'épiderme de la radicule n'est, au début, ni formé ni même indiqué; comme lorsqu'il se différencie, les couches extérieures de cette gaîne sont déjà exfoliées, il n'est pas possible de déterminer combien de couches de tissu cortical séparaient de l'extérieur l'épiderme de la racine.

Nous sommes donc amené à admettre que, dès qu'il y a différenciation entre les tissus de la racine des Palmiers, il y a des initiales communes à la coiffe et à l'écorce, et peut-être même à l'écorce et au cylindre central; nous voyons aussi que la coiffe est formée originairement par l'écorce : mais dès que l'*épiderme* est indiqué, ni lui, *ni l'écorce, ne présentent plus jamais de divisions tangentielles destinées à augmenter le nombre des couches de la coiffe*.

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 29, et pl. V, fig. 20.

LIRIOIDÉES.

Liliacées. — M. de Janczewski rapporte à son deuxième type le pivot de l'*Allium odorum* et de l'*A. glaucum* (1). Les Liliacées sont, pour M. Treub, la représentation la plus complète de son troisième type, caractérisé par la présence d'initiales communes à l'écorce et à la coiffe. Les Xérotidées, les Aspidistrées, les Ophiopogonées, qu'avec M. Brongniart nous rangeons parmi les Liliacées, possèdent les mêmes caractères généraux (2).

Après avoir constaté l'exactitude des données de M. Treub sur plusieurs plantes appartenant aux mêmes genres, par exemple sur le *Hyacinthus orientalis* L., le *Dracæna Draco* L., le *Ruscus aculeatus* L. et le *Phormium tenax* Forst., j'ai étudié attentivement l'embryon, avec la pensée que peut-être j'y trouverais une plus grande spécialisation des initiales de la racine ; mais les faits n'ont pas confirmé mon attente.

Dans le *Phormium tenax*, par exemple, la radicule de l'embryon est plus étroite que la racine formée ; le cylindre central est étroit, différencié jusqu'au sommet ; le péricambium en est séparé de très-bonne heure. Il y a dans cette plante, jusque dans l'embryon, des initiales communes à l'écorce et à la coiffe, en moins grand nombre, il est vrai, que dans la racine développée. Le groupe d'initiales communes, formé de deux ou trois couches de cellules irrégulièrement superposées, n'intéresse pas plus de quatre cellules en largeur ; l'écorce et l'épiderme se spécialisent à peu près en même temps ; le développement de l'écorce est fort irrégulier.

Quant à la coiffe, confondue au sommet avec les initiales de l'écorce, elle est formée de cellules disposées en couches concentriques, bien plutôt qu'en séries verticales. Les cellules les plus profondes seulement sont sensiblement disposées en séries verticales. Par ses bords, la coiffe présente avec l'épiderme les mêmes rapports que dans le *Carex ;* elle paraît résulter d'une

(1) Voy. de Janczewski, *Accroissement des racines*, p. 31.
(2) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 13, 17, 18, et pl. I, fig. 3-4 ; pl. II, fig. 5-6.

division tangentielle hâtive de l'épiderme, et quoi qu'il en soit de cette origine, elle se développe par le dédoublement centripète de ses couches les plus profondes, sans jamais intéresser l'épiderme dans son développement ultérieur.

Dans le *Ruscus aculeatus*, dont l'embryon est beaucoup plus volumineux, le groupe d'initiales communes est aussi plus considérable ; il ne l'est pas moins que dans la racine développée, déjà signalée par M. Treub comme ayant de nombreuses initiales communes (1). La coupe de sa racine ressemble d'une façon frappante à celle de la racine d'*Aloe* figurée par M. Treub (2). L'épiderme ne se différencie qu'assez loin du sommet ; les cellules de la coiffe sont plus qu'ailleurs disposées en séries verticales, surtout au centre ; à la périphérie, elles forment des couches irrégulièrement superposées.

Le *Dracæna Draco* ne m'a montré aucune différence avec le *Ruscus aculeatus*, et fort peu de différence entre sa radicule et sa racine développée.

L'*Allium Cepa* L. et l'*Hyacinthus orientalis* L. se rapprochent davantage au contraire du *Phormium tenax*, mais la coiffe est moins développée ; ses couches sont un peu moins régulières. Dans la radicule de l'*Allium Cepa*, la spécialisation est notablement plus considérable que dans la racine développée de la même plante (3).

Enfin la radicule de l'*Asparagus officinalis* L. se rapproche aussi beaucoup de celle du *Phormium*, mais le groupe d'initiales communes est un peu plus nombreux, un peu plus large surtout.

L'embryon de l'*Ophiopogon spicatus* Bot. Reg. présente les plus grandes ressemblances avec celui du *Ruscus aculeatus* ; je n'ai pu saisir entre leur radicule aucune différence.

Je résume en quelques mots mes observations. Les limites entre les tissus sont souvent obscures, grâce aux divisions peu régulières des couches qui les constituent ; des divisions tangen-

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 14.
(2) Voy. Id., *ibid.*, pl. I, fig. 4.
(3) Voy. Id., *ibid.*, pl. I, fig. 3.

tielles se produisent parfois dans l'épiderme ou dans le péricambium, d'une façon tout à fait locale, et sans qu'il en résulte un dédoublement de couches; entre l'écorce et la coiffe, il y a toujours confusion au sommet. La coiffe est en contact avec l'épiderme par ses bords, et paraît résulter d'un dédoublement de l'épiderme à une époque très-reculée du développement de l'embryon; *mais ensuite l'épiderme ne prend plus aucune part à la constitution de la coiffe, ni dans la radicule, ni dans la racine* : c'est là un caractère négatif commun à toutes les Monocotylédones dont nous nous sommes occupé jusqu'à présent.

Amaryllidées. — D'après les recherches de M. Treub, la racine des Amaryllidées appartient au type des Liliacées; il en est de même de celle des Astéliées et Hypoxidées, que nous pouvons en rapprocher. M. Treub a étudié en particulier une racine embryonnaire de *Clivia miniata* (1). Il résulte de sa description comparée à la figure qui la représente, qu'il n'y a pas de limite bien nette entre l'écorce et la coiffe; cependant il me semble que le trait fort qui indique cette limite pourrait être continué jusqu'à un point un peu plus rapproché du sommet, et qu'on pourrait peut-être considérer les cellules directement superposées au cylindre central comme initiales spéciales de l'écorce; il est vrai toutefois qu'il n'y a pas de distinction nette entre ces cellules et celles de la coiffe.

D'ailleurs, si je me permets de faire cette observation sur la possibilité d'interpréter différemment le dessin de M. Treub, ce n'est que pour mettre en relief les doutes que l'observation peut faire naître sur le type dans lequel il faut ranger la racine de certaines plantes. Le manque de limite entre ces types me paraît leur enlever leur raison d'être.

J'ai trouvé dans la plupart des plantes de cette famille les caractères observés par M. Treub.

Prenons pour exemple le *Zephyranthes chloroleuca*, Herb. (fig. 6). Le cylindre central a, avec celui du *Clivia*, figuré par

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, pl. II, fig. 7.

M. Treub, les plus grands rapports. Il se termine au sommet par trois cellules allongées dans le sens de l'axe.

Elles sont recouvertes par les initiales de l'écorce. Contrairement à ce qui a lieu d'ordinaire, on peut donner ce nom à deux cellules superposées irrégulièrement et aplaties perpendiculairement à l'axe; la plus extérieure des deux n'appartient pas spécialement à l'écorce; elle paraît commune à ce tissu et à la coiffe. Ces initiales forment successivement les assises de l'écorce; l'épiderme n'est différencié qu'assez loin du sommet, quoique l'assise aux dépens de laquelle il se forme puisse dès le début être déterminée comme assise corticale. Les autres couches de l'écorce se divisent aussi irrégulièrement que dans les Liliacées.

La coiffe, plus allongée qu'elle ne l'est en général dans cette famille, est moins large, le diamètre de la racine étant moindre. La coiffe est formée latéralement de couches concentriques, mais dans la région de l'axe les cellules sont disposées surtout en séries verticales, dont l'une, médiane, continue directement les initiales communes de l'écorce et de la coiffe. Par ses bords cette coiffe est en contact intime avec l'épiderme extérieur aux dépens d'une cellule duquel elle paraît avoir séparé sa première couche; le développement de la coiffe est tout entier centripète.

Le *Narcissus pseudo-Narcissus* L. a un embryon bien plus petit que celui du *Zephyranthes*. La coiffe est beaucoup moins développée; elle est formée seulement de huit assises, disposées principalement en couches concentriques, même au centre. Les initiales de l'écorce sont moins nettement délimitées par rapport à celles de la coiffe que dans le *Zephyranthes*, et ressemblent beaucoup à celles du *Clivia*.

Dans le *Sternbergia sicula* Tod. je n'ai jamais trouvé non plus de différenciation nette entre les initiales de l'écorce et celles de la coiffe; ici la coiffe est épaisse, mais plutôt encore formée de couches concentriques que de séries verticales, qui ne sont qu'indiquées au centre.

La radicule de l'*Agave Scolymus* Karw. m'a seule montré

des initiales spéciales à l'écorce, incontestablement distinctes de celles de la coiffe. Il y en a deux, disposées côte à côte de chaque côté de la ligne médiane; l'épiderme ne se différencie pas cependant plus tôt que dans le *Zephyranthes* (fig. 7). L'écorce se développe d'une façon générale en direction centrifuge, mais beaucoup de divisions ont lieu d'une manière irrégulière. Les initiales du cylindre central sont moins distinctes que dans le *Zephyranthes*, à cause de la grande irrégularité du développement de l'écorce. Il résulte de tous ces caractères que la radicule de l'*Agave* appartient au deuxième type de M. de Janczewski, et que celle des autres Amaryllidées que j'ai observées, ainsi que celles du *Clivia*, doivent rentrer dans le troisième type de M. Treub; mais je pense avoir suffisamment montré combien les caractères qui déterminent leur place sont vagues et spécieux.

L'indépendance absolue de l'épiderme de la racine, dès qu'il est différencié, le fonctionnement indépendant de la coiffe, sont des caractères beaucoup plus importants.

Dioscorées. — M. Treub, sans donner la description spéciale d'aucune espèce, considère comme très-probable que les Dioscorées et les Taccacées, qui n'en sont pas éloignées, appartiennent au type des Liliacées.

M. de Solms-Laubach, dans le petit travail publié récemment par lui, étudie l'embryon des Dioscorées, et particulièrement celui du *Tamus communis* L. Nos observations concordent en ce point que la différenciation entre les tissus de la racine est très-faible dans cette plante (1); le cylindre central est nettement délimité; en dehors de lui il n'y a qu'un ensemble de couches parenchymateuses fort irrégulières et constituant un cône très-surbaissé dans lequel on ne trouve aucune différenciation nette en écorce, épiderme et coiffe; au sommet surtout, la confusion est complète entre ces tissus. Par cette confusion, cette radicule présente réellement les caractères des Liliacées, mais le manque de différenciation entre les autres tissus primaires de la racine m'empêche de comparer rigou-

(1) Voy. de Solms-Laubach, *loc. cit.*, fig. 37.

reusement la radicule du *Tamus* à celle des plantes appartenant aux autres familles du même ordre.

Iridées. — La famille des Iridées me paraît mériter une attention particulière à cause de la netteté des résultats obtenus sur la structure du sommet de la racine embryonnaire de plusieurs plantes de cette famille. M. Treub la considère comme offrant un terme de « transition entre le type des Liliacées et celui des Joncées » (1). D'après les observations de cet auteur, observations que j'ai confirmées par l'étude de la racine de plusieurs espèces d'*Iris*, la coiffe et l'écorce ne sont pas absolument indépendantes, mais les initiales communes sont peu nombreuses (2) ; l'auteur déclare du reste qu'il ne croit pas que les initiales communes participent d'une manière essentielle à l'accroissement de la coiffe.

J'ai conservé pour quelques embryons cette incertitude au sujet de la spécialisation des initiales de la coiffe et de l'écorce. Dans le *Tigridia Pavonia* Red., le *Morœa irioides* Bot. Reg., l'*Antholiza æthiopica* L., le sommet présente les caractères généraux du sommet de la racine du *Libertia formosa* (3). Il y a pour l'écorce deux ou trois initiales qu'il ne m'a pas été possible de distinguer d'une façon nette des cellules profondes de la coiffe. Dans l'*Evansia vespertina* Dcne, le doute sur leur différenciation est bien faible ; cependant il n'est pas absolument certain que les initiales soient spéciales.

Au contraire, dans les cinq espèces d'*Iris* que j'ai observées et dans le *Gelazine azurea* Bot. Mag., le doute n'est plus possible. Il y a au sommet de la radicule des initiales particulières à la coiffe et d'autres spéciales à l'écorce ; les rapports de tous les tissus sont plus nets que dans la généralité des racines développées (fig. 8).

Le cylindre central se termine par un groupe de deux cellules dans l'*Iris fragrans* Lindl., l'*Iris pseudo-Acorus* L. ; de trois dans l'*Iris virginiana* Ker., l'*Iris ochroleuca* L. (fig. 8),

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 20.
(2) Voy. Id., *ibid.*, pl. II, fig. 9 ; pl. III, fig. 10.
(3) Voy. Id., *ibid.*, pl. II, fig. 8.

l'*I. fœtidissima* L. Dans toutes ces espèces, le cylindre central, formé de cellules allongées, se développe sans régularité appréciable. Le péricambium se spécialise de très-bonne heure.

L'écorce a deux initiales dans ces cinq *Iris;* elles sont en général un peu moins grandes que les initiales du cylindre central et de même dimension que les cellules qui en proviennent; la plus grande partie de l'écorce se développe en direction centripète, l'autre en direction centrifuge. Dans l'*Antholiza æthiopica*, l'écorce a un développement beaucoup plus centrifuge que centripète; l'épiderme ne se différencie pas, par suite de la première division des initiales de l'écorce, mais à une faible distance, variable suivant les espèces.

Quant à la coiffe, elle est formée de couches concentriques très-régulières, surtout dans l'*Iris fragrans*, et absolument indépendantes des initiales de l'écorce; par ses bords seulement elle est en contact avec l'épiderme, de sorte qu'elle paraît avoir tiré de l'épiderme son origine première, comme nous l'avons déjà signalé plusieurs fois, et qu'elle en est actuellement indépendante. Ces rapports avec l'épiderme existent dans toutes les Iridées que j'ai étudiées.

Jetons un coup d'œil rapide sur ce que nous avons dit au sujet de l'ordre des Lirioïdées. Dans les Liliacées, il n'y a pas de différence appréciable entre les caractères de la racine développée et ceux de la radicule. Chez les Amaryllidées, il y a fréquemment une simplification, en ce sens que le groupe d'initiales communes est moins nombreux dans la radicule que dans la racine développée, et j'ai cité un exemple dans lequel la radicule présente des initiales spéciales de la coiffe et de l'écorce. Enfin, dans les Iridées, il est fréquent encore qu'on ne puisse déterminer si les initiales sont spéciales au sommet; elles le sont cependant d'une façon incontestable dans plusieurs cas.

Les transformations que j'indique aux différents états d'une racine d'une même espèce (d'*Iris* par exemple) me semblent mettre suffisamment en relief le peu de valeur de ces caractères, et je crois légitime de négliger ces caractères différen-

tiels, variables avec l'âge, pour n'insister que sur les caractères communs à tous les âges.

BROMÉLIOIDÉES.

Broméliacées. — La dimension de l'embryon des plantes de cette famille est très-variable ; dans plusieurs des Broméliacées que j'avais choisies, pensant qu'elles me fourniraient de bons résultats, j'ai trouvé un embryon extrêmement petit et dépourvu, au moins à l'extrémité radiculaire, de toute espèce de différenciation.

Le *Dyckia rariflora* Schult. est favorable à l'observation, grâce à ses dimensions assez considérables. Le cylindre central est nettement spécialisé jusqu'au sommet ; il y devient très-étroit et se termine par une seule cellule, qui se divise en deux : chacune d'elles est initiale d'une file cellulaire qui se dédouble peu et forme le péricambium à une distance quelquefois assez grande du sommet ; au centre se trouve une série indépendante des précédentes, formée de larges cellules (fig. 9).

L'écorce a deux initiales spéciales qui séparent tout d'abord l'épiderme, et successivement toutes les assises de l'écorce, en direction principalement centripète ; il n'est pas possible d'avoir le moindre doute sur l'indépendance de l'écorce par rapport à la coiffe : l'assise extérieure de la coiffe est appuyée par ses bords contre l'épiderme, aux dépens duquel elle paraît s'être formée à l'origine, mais toute la coiffe est constituée par les divisions tangentielles centripètes de cette première couche. Elle est formée finalement de six couches qui ne témoignent nullement de la disposition en séries verticales (fig. 9).

M. Treub, d'après l'observation de trois plantes de cette famille, la range dans le type des Liliacées ; malheureusement, je n'ai pu étudier sur les mêmes espèces l'embryon et la racine développée.

Quant à la famille des Hémodoracées, M. Treub lui attribue sans hésitation les caractères des Joncées, bien qu'elle se rapproche beaucoup, soit des Lirioïdées par les Iridées, soit

des Broméliacées. Ce fait milite encore en faveur de mon opinion, que les caractères tirés de la spécialisation plus ou moins grande des initiales ne doivent pas être considérés comme ayant une grande valeur.

Pontédériacées. — C'est avec raison qu'en abordant la description du sommet de la racine du *Pontederia crassipes*, M. Treub fait observer que cette étude est du plus haut intérêt. Au moment où paraissait le beau travail qui m'a fourni d'excellents termes de comparaison, j'avais étudié de mon côté, avec le plus grand soin, le sommet de la racine du *Pontederia crassipes*; longtemps j'avais hésité à lui attribuer tels ou tels caractères, jusqu'au moment où j'acquis la certitude que les caractères du sommet végétatif ne sont pas absolument fixes. J'ai dessiné en effet, à cette époque, un sommet de racine de cette plante qui présente avec la fig. 13 du mémoire de M. Treub des ressemblances frappantes, et j'interprète autrement les faits. Je n'admets pas volontiers, par exemple, que les cellules (*k*, fig. 13) appartiennent nettement à la coiffe; que la cellule *l*, la plus extérieure à droite, constitue un épiderme continu sur cette figure. Je crois pouvoir considérer cette coupe comme axiale, car il m'est arrivé un assez grand nombre de fois de trouver ce même caractère à des coupes que j'avais tout lieu de croire exactement médianes. Je constate du reste que, dans tous les cas observés par moi, les cellules qui constituent ce sommet sont irrégulièrement disposées. M. Treub paraît avoir cru d'abord que l'épiderme reste continu au sommet. Je crains que l'idée de rattacher le *Pontederia* à son troisième type ne l'ait empêché d'accepter ce fait comme l'expression de la vérité. Tout en considérant, en effet, comme exacte et médiane la coupe dont il est question, j'ai acquis plusieurs fois la certitude que cet épiderme n'est pas toujours continu au sommet, que par conséquent l'exactitude de la figure 14 et de la figure 15, n'est pas infirmée par les observations précédentes. Si l'on jette un coup d'œil sur la figure 15, représentant le sommet d'une racine adventive, on voit que l'épiderme et l'écorce se concentrent tout entiers

du côté gauche, contre une initiale *ic*, qui donne naissance à l'un et à l'autre. Du côté droit, l'épiderme et l'écorce se terminent contre une cellule initiale *ic* dédoublée pour former la cellule *k* qui lui est superposée. Je crois que les deux cellules *k* ne sont pas bien caractérisées comme cellules de coiffe, et il me paraît y avoir autant de probabilité pour qu'elles appartiennent à l'épiderme qu'à la coiffe. Que la cellule initiale de gauche soit dédoublée comme celle de droite (je crois que c'est le cas qui se produit dans la figure 13), et l'épiderme sera continu.

J'ai acquis la certitude que le cloisonnement n'a pas lieu dans toutes les plantes avec une régularité rigoureuse, et l'excellente description que M. Treub joint à ses dessins doit, ce me semble, contribuer fortement à le faire admettre. M. Treub dit : » Dans les coupes médianes, il y a d'ordinaire deux ou trois » cellules auxquelles il faut assigner le rôle d'initiales com- » munes; loin d'être en même temps cellules inférieures des » séries de la coiffe, ces initiales font, dans le *Pontederia*, entiè- » rement l'effet d'appartenir au corps de la racine, et de ne » céder que de temps en temps une cellule fille à la coiffe (1). »

J'aborde maintenant la description du sommet de la radicule du *Pontederia cordata* L. Comme il arrive presque toujours dans les Monocotylédones, elle se termine brusquement par un cône très-raccourci; l'embryon étant volumineux, le cône radiculaire a une large base (fig. 10).

Le cylindre central se termine au sommet par une surface arrondie occupée par un groupe d'initiales aux dépens desquelles le péricambium se spécialise à une distance assez faible du sommet; les autres files cellulaires du cylindre central se divisent sans régularité appréciable; au centre, il y a une file de cellules larges et courtes, comme le sont les cellules origine d'un gros vaisseau ; mais il est probable qu'elle se dédouble aussi bien que les autres files, car dans la racine développée le cylindre est beaucoup plus large que dans l'embryon.

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 23.

L'écorce se réduit au sommet à deux ou trois initiales. Quand il y en a deux, et c'est un cas fréquent, elles sont situées de chaque côté de la ligne médiane; quand il y en a trois, leur position est ordinairement moins régulière. J'ai reproduit (fig. 10) une coupe qui me paraît intéressante à ce point de vue. Il y a en effet trois initiales, mais deux d'entre elles sont situées de chaque côté de la ligne médiane, et l'une d'elles paraît simplement dédoublée par une cloison postérieure à sa formation; cette cloison est oblique. C'est un cas intermédiaire entre le cas de deux cellules et celui où il s'en présente trois paraissant formées simultanément. L'épiderme ne se forme pas par suite du premier dédoublement des initiales. On trouve de chaque côté une ou deux cellules qui sont communes à l'épiderme et aux couches corticales sous-jacentes. On remarque dans ces couches extérieures un développement légèrement centrifuge; mais la plus grande partie de l'écorce se développe en direction centripète, de façon que l'endoderme n'est différencié que très-loin du sommet. Quand ce fait se produit, on y trouve un caractère précieux pour limiter le cylindre central par rapport à l'écorce.

La coiffe a avec l'épiderme les rapports que j'ai signalés jusqu'ici dans toutes les Monocotylédones dépourvues de gaîne radiculaire; elle semble avoir été formée originairement par une division de l'épiderme à une époque très-reculée du développement. Je n'affirme pas qu'il en soit ainsi, mais cela me paraît fort probable, d'après les travaux de M. Hanstein, de M. Hegelmaier et de M. Fleischer sur le développement de l'embryon des Monocotylédones. Quoi qu'il en soit de cette origine, il est certain que dans la suite la coiffe n'emprunte plus rien à l'épiderme; celui-ci ne se divise plus tangentiellement; la coiffe au contraire se développe de plus en plus en direction centripète. On y rencontre bien quelquefois (fig. 10) des divisions qui ne sont pas centripètes, mais elles sont rares. La disposition en séries verticales n'est pas sensible. Au contraire, les cellules de la coiffe sont disposées en couches tangentielles parallèles à la surface de l'écorce. Je pense que la disposition

en séries verticales n'apparaît qu'à la suite de la germination; les divisions dans la partie profonde de la coiffe deviennent nécessairement plus nombreuses à cause de l'exfoliation très-rapide de ses couches extérieures.

Des détails que je viens de donner sur l'embryon du *Pontederia cordata*, aussi bien que de la comparaison entre les observations de M. Treub et celles que j'ai faites moi-même sur la racine développée, il me semble résulter que les modifications décrites avec tant de soins par M. Treub ne peuvent pas entrer en ligne de compte pour déterminer à quel type de structure appartient un organe. On en est arrivé là en exagérant l'importance de tous les détails de structure du sommet de la racine. Nulle part ailleurs on n'a attaché cette importance à la façon dont se divisent les tissus. Cela a été utile, nous n'en doutons pas, pour donner aux observations une plus grande rigueur, mais il ne faut pas se laisser entraîner trop loin dans cette voie; c'est pourquoi je cherche à mettre en relief les caractères communs, plutôt que des caractères différentiels. Dans les deux espèces de *Pontederia* que nous venons d'étudier, nous aurions affaire à trois types différents suivant que la racine est embryonnaire ou développée, suivant que telle initiale de l'écorce s'est ou non divisée par une cloison tangentielle. Je ne puis accepter cette manière de voir, et je dirai, pour résumer ma pensée, que dans les *Pontederia*, les initiales peuvent être plus ou moins spéciales à chaque tissu; que l'épiderme peut être très-probablement indépendant de l'écorce jusqu'au sommet de la racine; que je n'ai jamais observé ce fait dans l'embryon, et enfin que le caractère le plus remarquable commun à toutes ces racines, c'est que l'épiderme, une fois différencié, ne prend plus aucune part à la formation de la coiffe.

SCITAMINÉES.

Musacées, *Zingibéracées*. — L'embryon du *Musa ornata* Roxb. est fort peu développé; la différenciation est très-faible, surtout à l'extrémité radiculaire. On ne distingue à cette extré-

mité de l'embryon qu'un cylindre central réduit au sommet à quelques initiales dont le nombre est variable, et qui sont disposées assez irrégulièrement. Les cellules du cylindre central sont allongées; on voit vers le centre une file de cellules d'apparence vasculaire qui se prolongent presque jusqu'au sommet.

En dehors de ce cylindre central, on ne distingue aucune différenciation; il est entouré complétement par un parenchyme homogène, dans lequel aucun caractère ne permet de reconnaître une écorce, un épiderme, une coiffe. Je ne puis par conséquent apporter aucun document nouveau sur cette famille.

M. Treub trouve au sommet de la racine des initiales communes à l'écorce et à la coiffe (1).

Dans les Zingibéracées au contraire, qui ont avec les Musacées des affinités incontestables, cet auteur trouve trois tissus primaires indépendants : la coiffe, l'écorce, le cylindre central (2).

J'ai étudié l'*Hedychium angustifolium* Roxb. L'embryon de cette plante ressemble beaucoup à celui des Cannées, mais l'extrémité radiculaire est, comme chez les Musacées, très-petite relativement aux dimensions du cotylédon. Le cylindre central, plus étroit que celui du *Phrynium villosulum* (Cannées) figuré par M. Treub (3), présente à peu près les mêmes caractères. Le péricambium ne se forme qu'assez loin dans les parties latérales, et les différentes couches se divisent sans régularité appréciable. Il y a deux, quelquefois trois initiales de l'écorce. L'épiderme se spécialise dès la première division des initiales, mais ne prend pas de caractères anatomiques particuliers; aussi les confond-on facilement à première vue, surtout au sommet, avec les assises de la coiffe et avec celles de l'écorce ; il faut le suivre attentivement jusqu'au sommet pour voir qu'il est formé directement par les initiales. Suit-on, d'autre part, l'épiderme vers la périphérie, on reconnaît qu'il ne va pas s'ap-

(1) Voy. Treub, *loc. cit.*, p. 25, et pl. IV, fig. 16.
(2) Voy. Id *ibid.*, p. 27.
(3) Voy. Id. *ibid.*, pl. IV, fig. 17.

puyer contre l'épiderme extérieur qui recouvre au contraire la coiffe et constitue une véritable gaîne radiculaire très-étroite. Il n'est pas possible de dire surtout où est la limite entre la coiffe et la gaîne radiculaire, comme on peut le faire pour le *Zea Mays;* peut-être que cette gaîne joue tout entière le rôle de coiffe, et qu'ainsi l'épiderme de la tigelle, en se prolongeant sur la radicule, est exfolié comme première couche de coiffe : les efforts que j'ai faits pour obtenir des germinations de cette plante n'ont pas abouti. Quoi qu'il en soit de ce point, il est certain que l'épiderme de la racine ne continue pas directement celui de la tigelle, et que la coiffe ne résulte pas du dédoublement de l'épiderme. La coiffe ou la gaîne radiculaire est disposée en un petit nombre de couches tangentielles à l'épiderme de la radicule, mais assez irrégulières toutefois.

Cette plante présente par conséquent la structure signalée par M. Treub chez d'autres plantes de cette famille et appartient au type des Joncées, tandis que les Musacées rentrent, d'après le même auteur, dans celui des Liliacées.

Cannées. — Nous venons de voir qu'il y a dans les Zingibéracées une trace de coiffe, et que ces plantes appartiennent nettement au type des Joncées, ou deuxième type de M. de Janczewski. L'embryon des Cannées que j'ai étudiées présente les mêmes caractères. Ce sont : *Canna indica*, L. *C. sanguinea* Lodd., *Thalia obliqua.*

L'embryon du *Canna indica*, que je prends pour exemple, est allongé, cylindrique et fort développé; la radicule est épaisse. Parmi les Monocotylédones que j'ai observées, le Maïs seul a un embryon plus volumineux que celui-ci. Vers la base de la radicule, on trouve, comme dans le Maïs, plusieurs racines secondaires plus ou moins développées; son sommet est recouvert d'une gaîne radiculaire.

L'étude anatomique du pivot avant la germination montre que le *Canna* présente, à fort peu de chose près, les caractères du *Zea Mays*. Le cylindre central est épais, et présente un nombre variable d'initiales; le péricambium ne se spécialise qu'à une distance assez notable du sommet. Les différentes files qui

constituent le cylindre central paraissent se diviser sans ordre appréciable.

L'écorce se forme aux dépens de trois initiales. L'épiderme en est séparé le premier; le développement de l'écorce a lieu principalement en direction centripète; l'endoderme en est ainsi la dernière couche différenciée. Quelques dédoublements ont lieu pourtant sans ordre, dans les couches extérieures de l'écorce, mais on ne peut réellement distinguer dès le début une écorce interne et une écorce externe. L'épiderme, que nous savons être séparé des initiales de l'écorce par leur première division, n'est pas en rapport à la base de la racine avec l'épiderme de la tigelle. Il est recouvert au contraire par trois couches du parenchyme cortical, et par l'épiderme de la tigelle. Ce parenchyme formé de cellules présentant de nombreux méats ne change nullement ses caractères en passant de la tigelle sur la racine.

Suit-on cette gaîne attentivement vers le sommet de la racine, on reconnaît que les assises corticales qui la constituent se divisent d'abord assez irrégulièrement, et plus régulièrement au sommet même, où l'on reconnaît que l'accroissement est centripète; les méats persistent jusque très-près du sommet, ils y disparaissent peu à peu.

Lors de la germination, au moment où la radicule apparaît au dehors, la gaîne se rompt au niveau de la base de la racine, et forme tout autour de cette base une petite collerette qui limite nettement la tigelle par rapport à la racine. En même temps l'épiderme de la tigelle, prolongé au-dessus de la gaîne, s'exfolie irrégulièrement avec une ou deux des couches sous-jacentes. A partir de ce moment, l'exfoliation a lieu fort régulièrement; la coiffe fonctionne comme telle et se régénère sans cesse par sa face interne.

Les racines latérales qui se trouvent à la base du pivot ont la même structure générale (fig. 11); elles sont plus étroites, moins développées dans toutes leurs parties. L'écorce n'a ordinairement que deux initiales. La coiffe est encore peu développée ; ses rapports d'origine ne sont pas nets. Il paraît certain

qu'elle provient tout entière du tissu cortical de l'organe de laquelle est née la racine; mais il eût fallu suivre son développement pour préciser de quelle couche elle tire son origine. Son développement est centripète comme dans la racine principale; elle ne présente pas le moindre rapport avec l'épiderme de la jeune racine qu'elle recouvre.

La radicule du *Canna sanguinea* ne diffère pas de celle du *Canna indica*.

L'embryon du *Thalia obliqua*, beaucoup moins développé que celui des *Canna*, l'est fort peu surtout au point de vue de la différenciation de la radicule. On distingue assez nettement le cylindre central, mais il n'y a aucune différenciation dans le tissu qui lui est extérieur; il n'y a ni initiales de l'écorce, ni épiderme, ni coiffe. Cet embryon présente en un mot de grandes ressemblances avec celui du *Musa ornata*.

M. Treub ne croit pas, d'après ses recherches sur la racine développée de quelques plantes de cette famille, qu'elles puissent être nettement rapportées au type des Joncées; cependant il est bien près de l'admettre (1).

Les racines embryonnaires qui présentent une différenciation assez considérable pour être étudiées utilement appartiennent certainement à ce type.

ORCHIOIDÉES.

Orchidées. — La dégradation de l'embryon des Orchidées a été signalée déjà par beaucoup d'auteurs; je ne me suis pas contenté cependant de l'accepter sans contrôle. Il ne faudrait pas conclure de ses petites dimensions à l'impossibilité d'y reconnaître une différenciation, car il arrive pour certaines familles de Dicotylédones (les Campanulacées, par exemple), qu'on puisse reconnaître dans un embryon plus petit que celui de quelques Orchidées toutes les parties qui constituent normalement un embryon dicotylédoné.

J'ai étudié des Orchidées appartenant à différentes tribus :

(1) *Loc. cit.*, p. 26.

Neottia Nidus-avis Rich., *Platanthera chlorantha* Cust., *Orchis latifolia* L., *Ansellia africana* Lindl. Cette dernière a un embryon relativement volumineux; mais, malgré l'application du procédé de M. Treub, qui en rend l'étude très-facile, on ne peut y distinguer, aussi bien que dans les autres Orchidées, qu'une masse homogène de cellules dépourvues de toute espèce de différenciation.

M. Treub rapporte au type des Liliacées les racines des plantes de cette famille (1).

FLUVIALES.

Hydrocharidées. — La famille des Hydrocharidées présente des particularités qui n'ont pas échappé aux différents auteurs qui ont étudié l'accroissement terminal de la racine de ces plantes.

L'*Hydrocharis* est en effet l'un des rares exemples des plantes constituant le premier type de M. de Janczewski (2). Cet auteur y a reconnu dans la racine adulte une coiffe absolument indépendante de l'épiderme; les couches les plus extérieures sont les plus vieilles, les plus internes sont les plus jeunes; chacune d'elles disparaît à son tour jusqu'à la dernière, de façon qu'enfin le sommet de la racine est mis à nu. *L'épiderme est lui-même indépendant de l'écorce*, et recouvre au sommet les initiales de l'écorce au nombre de deux, trois ou quatre; l'écorce se développe en direction centripète; le cylindre central est engendré par un petit nombre d'initiales.

M. Treub a confirmé les observations de M. de Janczewski (3); je les ai trouvées exactes en tout point, en admettant la justesse de l'observation que fait M. Treub au sujet de la ressemblance absolue entre l'assise la plus interne de la coiffe et l'épiderme, au sommet de la racine.

L'étude de l'embryon de l'*Hydrocharis Morsus-ranæ* L.

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 27.
(2) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 6, et pl. XIII, fig. 1-8.
(3) Treub, *loc. cit.*, p. 43.

pourrait peut-être faire reconnaître les rapports d'origine de l'épiderme avec la coiffe et avec l'écorce; je suis très-porté à croire, d'après la description de M. de Janczewski, que la genèse de l'épiderme et de la coiffe est commune. Il est possible aussi qu'au début du développement, on trouve des relations anatomiques entre l'épiderme et l'écorce ; les matériaux m'ont manqué pour étudier ce point.

Le *Stratiotes aloides* L. a été étudié par M. de Janczewski (1) et par M. Treub (2) ; leurs résultats sont les mêmes pour tous es points essentiels; je n'ai pu que les confirmer. Il en résulte que la racine appartient au deuxième type de M. de Janczewski. L'épiderme s'individualise par suite de la première division des initiales de l'écorce. A ce sujet je dois mettre en relief un fait signalé par M. Treub, et qui me paraît intéressant : « J'ai trouvé, » dit-il, une fois, par exception, une initiale du périblème cloi- » sonnée tangentiellement (fig. 29), quoique la coupe, qui d'un » côté n'était pas très-régulière, parût être axile. » Ce fait me paraît en effet tout à fait exceptionnel ; je ne l'ai pas retrouvé sur les coupes que j'ai obtenues du sommet de cette plante, mais il ne m'en paraît pas moins intéressant : j'y trouve un nouvel appui pour l'opinion que j'ai émise au sujet des Pontédériacées, sur les rapports de l'épiderme avec l'écorce. Admettons en effet que la cloison tangentielle qui divise une des initiales de l'écorce se produise dans toutes ces initiales, ce qu'on peut, je crois, considérer comme très-vraisemblable. Les cellules extérieures résultant de ces divisions, continuant directement les cellules de l'épiderme, celui-ci devra nécessairement être considéré comme continu, tandis que l'autre moitié de chaque initiale primitive sera spécialement initiale de l'écorce. J'ai essayé de montrer au sujet de plusieurs plantes, qu'on a attaché trop d'importance aux cloisonnements de telle ou telle cellule déterminée ; la comparaison de la radicule et de la racine développée m'a donné la certitude que le cloisonnement n'a pas lieu

(1) De Janczewski, *loc. cit.*, p. 16.
(2) Treub, *loc. cit.*, p. 43.

avec une régularité mathématique, suivant une loi absolument invariable.

Le fait, qui est exceptionnel dans le *Stratiotes*, se produit normalement dans l'*Hydrocharis* ; on ne peut donc pas considérer ces deux racines comme séparées par des différences fondamentales : les caractères qui les distinguent me paraissent faibles. Au contraire, l'*Hydrocharis* possède, avec les autres plantes de la même famille et les Monocotylédones en général, des caractères communs bien plus importants, invariables, qui me permettront, je l'espère, d'établir exactement la structure du sommet de la racine dans ce groupe.

M. Treub attribue aussi à la racine du *Vallisneria spiralis* L. (1) la structure du deuxième type de M. de Janczewski. J'ai confirmé ces observations. M. Holle a trouvé, au contraire, que les jeunes radicelles de *Vallisneria* appartiennent au deuxième type de M. de Janczewski, mais qu'après très-peu de temps, les initiales de l'écorce se divisent tangentiellement et que l'épiderme devient assise spéciale (2).

L'*Helodea canadensis* Michx. a, d'après M. Treub, des initiales communes à la coiffe et à l'écorce extérieure (3).

Dans cette famille, dont quatre genres ont été étudiés, nous avons donc affaire à trois types de structure de la racine ; n'est-ce pas là encore une raison de mettre en doute la valeur des caractères qui servent à les distinguer ?

Alismacées. — L'*Alisma Plantago* L., par la simplicité de son organisation, nous fournit un exemple très-favorable pour l'étude de la radicule dans cette famille.

Le cylindre central très-étroit a ordinairement trois initiales ; elles se divisent sans régularité appréciable pour former tout le tissu du cylindre central ; le péricambium est spécialisé de très-bonne heure. Dans la coupe que j'ai dessinée (fig. 12), il l'est par la première division des initiales latérales, mais je n'affirme pas qu'il en soit toujours ainsi.

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 43.
(2) Holle, *Bot. Zeitung*, avril 1876.
(3) Treub, *loc. cit.*, p. 42.

L'écorce, beaucoup plus épaisse que le cylindre central, est formée de grandes cellules dans les parties latérales, où elle est complétement différenciée; mais vers le sommet l'épaisseur des cellules diminue ; toutes les files se réunissent finalement en une seule couche de deux initiales plus grandes que les cellules qui en proviennent. L'écorce se développe tout entière en direction centripète; l'épiderme en est la première couche différenciée.

La coiffe s'appuie latéralement contre l'épiderme et paraît formée par une division de cette assise à une époque antérieure du développement; mais après cette division de l'épiderme, que je considère comme très-probable, la coiffe fonctionne exclusivement par elle-même ; elle ne subit que deux divisions en direction centripète, et n'est formée que de trois couches.

M. Treub a étudié le sommet de la racine développée; il croit devoir conserver quelques doutes au sujet de l'indépendance absolue de la coiffe et de l'écorce au sommet, et admet plutôt qu'elle possède les caractères signalés déjà par lui au sujet du *Pontederia* (1) ; j'ai essayé, en traitant des Pontédériacées, d'expliquer ces modifications, je crois inutile d'y revenir ici.

M. de Janczewski place l'*Alisma Plantago* et le *Sagittaria sagittifolia* dans son deuxième type, d'après l'étude des racines adventives.

Je ne puis quitter ce sujet sans dire un mot de l'opinion de M. Hanstein sur la structure de l'embryon de l'*Alisma Plantago* (2). L'auteur a été induit en erreur, sans doute par la pensée qu'il trouverait aux Monocotylédones la même structure qu'aux Dicotylédones; il a vu l'épiderme très-jeune se diviser tangentiellement (fig. 15, F), et n'a pas reconnu que dès ce moment ce jeune épiderme fonctionne tout autrement que dans les Dicotylédones. Il indique des divisions successives de l'épi-

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 40.

(2) Comparez la figure 12 de ce mémoire avec celles de la planche 8 et de la planche 9 du mémoire de M. Hanstein (*Entwicklung des Keimes*), et notamment avec les figures 15 A-H, 17, 18, 19.

derme. Le dessin que je donne (fig. 12) du sommet de la radicule montre que dans l'*Alisma*, aussi bien que dans toutes les Monocotylédones que nous avons examinées, la coiffe se développe en dehors de toute action de l'épiderme.

D'autre part, M. Hanstein représente l'épiderme continu au sommet, comme il l'est dans l'*Helianthus;* je ne puis imaginer par suite de quelle erreur d'observation il est arrivé à admettre l'indépendance de l'épiderme, dont les rapports avec l'écorce sont aussi nets que possible.

Le *Sagittaria sagittifolia* L. présente les ressemblances les plus frappantes avec l'*Alisma Plantago* au point de vue qui nous occupe. La description que je viens de donner peut s'appliquer d'une façon presque absolue au *Sagittaria*. La coiffe est un peu moins large; la couche interne n'est pas encore aussi développée : c'est là une différence trop légère pour que j'aie besoin d'y insister. Une fois, exceptionnellement, j'ai vu trois initiales de l'écorce au lieu de deux.

Le *Triglochin palustre* L. a un pivot bien plus considérable que les plantes précédentes. Le cylindre central, plus épais que celui de l'*Alisma*, a un groupe de quatre ou cinq initiales qui forment le péricambium par la première division des plus extérieures d'entre elles; le cylindre se forme par des divisions successives et irrégulières (fig. 13).

L'écorce a deux initiales plus grandes que les cellules qui en proviennent. L'épiderme est spécialisé en premier lieu; au-dessous de lui se différencie une assise destinée à former en direction centrifuge une écorce externe; toutes les couches de l'écorce interne se forment successivement en direction rigoureusement centripète. L'endoderme n'est formé que très-loin du sommet (fig. 13).

A peine séparé des initiales de l'écorce, l'épiderme prend des caractères particuliers qui le distinguent mieux que nous ne l'avons vu jusqu'ici des tissus qui l'entourent; ses cellules s'allongent dans le sens radial, aussi la coiffe s'en distingue-t-elle le plus nettement possible. Le développement centripète de la coiffe aux dépens de l'assise la plus ancienne de cet organe est

plus évident ici que partout ailleurs, bien que les dimensions de la coiffe soient considérables (fig. 13).

Butomées. — La radicule du *Butomus umbellatus* L. ressemble aussi beaucoup à celle de l'*Alisma;* j'y ai toujours trouvé nettement indiqués les caractères de l'*Alisma.* Le nombre de coupes que j'ai obtenues de cet embryon n'était pas très-grand, mais toutes les coupes axiales que j'ai étudiées possédaient deux initiales de l'écorce.

M. Treub trouve que la racine de cette plante présente des caractères intermédiaires entre son deuxième et son troisième type (1); sa radicule appartient nettement au deuxième.

Les racines adventives d'un *Hydrocleis*, sp., que j'ai étudiées, présentent, au point de vue de la structure de la racine, les mêmes caractères que le *Stratiotes;* le cylindre central, l'écorce avec l'épiderme, la coiffe, forment autant de tissus nettement indépendants. Les initiales de l'écorce sont un peu aplaties; l'épiderme est le résultat de leur première différenciation; les cellules de la coiffe, développée tout entière par sa face interne, sont disposées en couches concentriques régulières.

Naïadées. — La racine du *Potamogeton crispus*, étudiée par M. Treub, possède d'après cet auteur trois tissus primaires et appartient par conséquent au type des Joncées. La radicule du *Potamogeton natans* L. ressemble beaucoup à celle de l'*Alisma* : la coiffe est un peu plus puissante; l'écorce a deux initiales, et se développe presque exclusivement en direction centripète; le cylindre central est un peu plus large que celui de l'*Alisma.*

Mes observations concordent absolument avec celles de M. Treub; je n'ai pas besoin de m'y arrêter plus longtemps.

Résumé.

Les initiales que M. Treub considère comme initiales communes, dont le nombre est presque toujours très-faible dans la radicule (Aroïdées, Typhacées, *Agave*, Iridées, Pontédéria-

(1) Treub, *loc. cit.*, p. 41, et pl. VI, fig. 27.

cées, *Alisma*), résultent plutôt d'une confusion des tissus consécutive du développement rapide de l'extrémité de la racine que d'un manque de différenciation originel; il arrive souvent, en effet, qu'il y ait au sommet de l'embryon une différenciation très-nette entre les tissus, alors que les initiales de l'écorce et de la coiffe paraissent communes dans la racine développée (*Sparganium*, *Iris*, *Agave*, *Pontederia*). C'est dans l'embryon des Liliacées que les initiales communes sont le plus développées.

Des divisions tangentielles tout à fait locales et accidentelles se produisent souvent dans des couches quelconques, même dans l'épiderme et le péricambium.

Le cylindre central est indépendant des autres tissus primaires; son épaisseur est très-variable, même au sommet, où l'on trouve tantôt beaucoup d'initiales, tantôt très-peu. Les différentes couches se développent sans ordre appréciable.

Le péricambium n'est pas continu au sommet; il est ordinairement formé tout près du sommet (*Zea*, *Luzula*), quelquefois à peu de distance (*Carex*), quelquefois à une distance plus considérable.

Il arrive pourtant qu'à cause du peu d'épaisseur du cylindre central, on puisse à la rigueur considérer le péricambium comme continu au sommet (*Sparganium*).

L'écorce est formée au sommet d'une couche de deux, trois ou quatre initiales. Il y en a plus fréquemment deux, bien que la racine développée de beaucoup de ces plantes en présente un plus grand nombre (*Carex*, *Luzula*, *Commelyna*).

Il y a ordinairement une partie externe de l'écorce à accroissement centrifuge (Graminées, Cypéracées, Joncées, Commélynées, Aroïdées); quelquefois la partie externe se divise fort irrégulièrement (*Sparganium*, Aroïdées); dans quelques cas, l'accroissement centripète prédomine dans l'écorce (Typhacées, *Pontederia*, Cannées, *Hydrocharis*, Alismacées).

L'endoderme n'est différencié que loin du sommet, à cause du développement centripète de l'écorce interne.

L'épiderme est formé par une division des initiales de

l'écorce, et souvent par la première division de ces initiales; ses cellules s'accroissent rapidement dans le sens radial et se différencient de bonne heure; elles peuvent même se cuticulariser extérieurement (Graminées).

Quelquefois l'épiderme ne se différencie qu'assez loin du sommet (Aroïdées, Liliacées, Amaryllidées, *Pontederia*); cela contribue beaucoup à confondre les initiales de l'écorce avec les couches profondes de la coiffe.

Dans quelques racines développées, l'épiderme est complétement indépendant de l'écorce (*Pistia*, *Hydrocharis*); l'épiderme y est peut-être indépendant de l'écorce dès l'origine de la racine.

Il est possible que, dans la racine du *Pontederia crassipes*, l'épiderme soit quelquefois indépendant de l'écorce, mais il ne l'est pas toujours; jamais je ne l'ai trouvé indépendant dans la radicule du *Pontederia cordata*.

La *coiffe* a un accroissement indépendant de l'écorce de la racine.

Elle dépend souvent d'une gaîne radiculaire, dont elle se sépare à la germination, et se régénère ensuite continuellement par sa face interne (Graminées, Dioscorées, Palmiers, Cannées); quelquefois la gaîne tout entière constitue la coiffe (Commélynées).

Plus fréquemment la coiffe tire son origine de l'épiderme de la tigelle; son assise extérieure paraît résulter du dédoublement de cet épiderme (Cypéracées, Joncées, Aroïdées, Liliacées, Amaryllidées, Alismacées, Butomées); *elle en devient aussitôt indépendante*.

Il n'y a pas une couche calyptrogène spéciale; *la couche la plus interne de la coiffe se divise sans discontinuité à mesure que les couches externes s'exfolient*. La coiffe se développe donc exclusivement en direction centripète.

Les cellules de la coiffe sont rarement disposées en séries verticales dans la radicule avant la germination : cela n'arrive que dans les Graminées; dans ce cas, ces files verticales se dédoublent longitudinalement, surtout dans les parties latérales.

Quand la coiffe n'est pas en rapport avec une gaîne radiculaire, les cellules qui la constituent sont, dans l'embryon, disposées très-régulièrement en couches concentriques.

DICOTYLÉDONES.

ASTÉROIDÉES.

Composées. — L'accroissement terminal de la racine a été étudié dans les Composées avec plus d'attention, je crois, que dans toutes les autres familles de Dicotylédones. L'*Helianthus annuus* a servi de base aux généralisations de M. Reinke; il est bien peu d'observateurs qui, depuis cette époque, n'aient remis en question les résultats acquis par cet auteur. Toutes les observations réunies sur ce point ont confirmé l'exactitude des faits observés par M. Reinke sur l'*Helianthus*. Des avis ne diffèrent pas sur les parties essentielles de la question; mais M. Reinke ne s'est pas trouvé d'accord avec ceux qui l'ont suivi, au sujet de certains faits de détail, et surtout au sujet de l'interprétation qui a donné lieu à de nombreuses discussions.

Elles ont fait connaître, d'une façon fort exacte, la structure du sommet de la racine dans les Composées. Il me sera par conséquent plus facile que partout ailleurs de discuter au sujet de ces plantes la valeur des différentes opinions qu'on a émises sur la façon d'expliquer la structure du sommet de la racine chez les Dicotylédones.

La radicule du *Silybum Marianum* Gærtn., a la forme d'un cône un peu plus allongé et plus étroit que le cône radiculaire de l'*Helianthus*. Une coupe longitudinale axiale montre un cylindre central, une écorce réduite au sommet à un petit nombre d'initiales, et un épiderme qui ne dépend pas de l'écorce, comme dans les Monocotylédones; il est au contraire en relation intime, constante, avec la coiffe.

Le cylindre central, indépendant de tout autre tissu, même au sommet, s'y réduit ordinairement à trois initiales, dont l'une est médiane; M. de Janczewski a observé que dans

l'*Helianthus* cette cellule médiane est initiale d'une ou deux files de cellules vasculaires. La différenciation du tissu procambial n'est pas assez considérable dans l'embryon du *Silybum* pour qu'on puisse affirmer qu'il n'en provient que des files de cellules vasculaires ; il est certain toutefois que cette cellule ne fournit que des files centrales du cylindre. Les deux initiales latérales forment, assez irrégulièrement du reste, les couches périphériques du cylindre central. Une première division de ces initiales produit le péricambium, qui dès lors reste simple.

M. Eriksson admet que, chez les Dicotylédones, le péricambium est continu au sommet, et que l'initiale médiane fait partie de la couche péricambiale; les initiales du reste du cylindre central sont, d'après cet auteur, recouvertes par le péricambium. Au premier coup d'œil cette opinion paraît vraisemblable, mais elle ne supporte pas un examen attentif. Il est impossible de considérer les initiales latérales, et particulièrement celle de gauche, comme spéciale au péricambium (fig. 14) (1).

Disons-le aussitôt, M. Eriksson considère l'indépendance du péricambium comme un fait général chez les Dicotylédones. Je ne partage pas l'avis de cet auteur; dans le plus grand nombre de cas, la communauté d'origine du péricambium et du reste du cylindre est bien plus nette encore que dans l'exemple que nous avons sous les yeux. A mesure que le cylindre central s'épaissit, ses différentes couches se développent sans régularité appréciable, et jusque très-loin du sommet, par des divisions verticales et transversales des files issues successivement des initiales.

L'écorce se réduit au sommet à deux initiales, situées côte à côte de chaque côté de la ligne médiane; elles sont fort régulières, plus grandes que les files cellulaires qui en proviennent, plus grandes aussi que dans l'*Helianthus*.

Ces deux cellules sont l'origine de tout le tissu cortical; l'épiderme n'en provient jamais.

Il me semble rationnel d'admettre qu'il doit se trouver des

(1) Comp. avec de Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, pl. XV, fig. 5.

moments où le nombre des initiales s'élève à trois, ou même à quatre : en effet, c'est par la division transversale et longitudinale de ces initiales qu'est formée successivement toute l'écorce ; les cellules mères s'accroissent nécessairement pour cela, puis elles se divisent par une cloison longitudinale accompagnée ou suivie d'une cloison transversale.

Si toute cloison longitudinale se produit nécessairement en même temps qu'une cloison transversale, le nombre des initiales ne s'accroîtra pas ; mais s'il peut s'écouler un espace de temps, fût-il très-court, entre la formation d'une cloison longitudinale et celle d'une cloison transversale, le nombre des initiales sera augmenté pendant ce temps très-court, et il me paraît très-vraisemblable qu'il en est ainsi.

Si, d'autre part, par suite de conditions déterminées, l'accroissement des initiales en largeur est plus rapide que la division transversale, il en résultera forcément que le nombre des initiales s'accroîtra.

Supposons au contraire que l'accroissement des initiales en largeur se ralentisse ; la division transversale pourra atteindre les cellules initiales elles-mêmes.

C'est de cette façon qu'il faut expliquer, à mon avis, les variations que l'on constate dans le nombre des initiales de l'écorce ; il est fréquent, en effet, qu'on en rencontre une seule dans les plantes où ordinairement on en trouve deux, et dans l'*Helianthus* le nombre s'en élève souvent à trois.

Quoi qu'il en soit à cet égard, deux cellules, l'une interne, l'autre externe, seront formées par la première division des initiales. La cellule externe ne reste pas simple dans le *Silybum* ; elle se divise à peu de distance du sommet en deux couches, dont l'extérieure est alors l'assise sous-épidermique. La cellule interne se divise successivement un grand nombre de fois jusqu'à une distance considérable du sommet ; cette division est régulièrement centripète, c'est-à-dire qu'à la suite d'un dédoublement, c'est toujours la série interne qui conserve la faculté de se dédoubler de nouveau ; finalement elle forme l'endoderme par sa dernière division.

Le nombre des couches de l'écorce augmente donc à mesure qu'elles s'éloignent du sommet, où elle est réduite tout entière à une couche de deux cellules.

L'épiderme et la coiffe doivent être étudiés très-attentivement. *L'épiderme est tout à fait indépendant de l'écorce ;* il a au sommet des initiales spéciales : c'est pourquoi M. Hanstein l'a nommé dermatogène ; d'autre part, l'épiderme a la même origine que la coiffe. M. de Janczewski, attachant plus d'importance au développement de la coiffe qu'à la formation de l'épiderme, a donné au tissu qui est l'origine de l'une et de l'autre le nom de *couche calyptrogène*. M. Eriksson, hésitant à attribuer à l'une de ces deux fonctions une prédominance sur l'autre, donne au tissu qui engendre l'épiderme et la coiffe le nom de *dermato-calyptrogène* (ou *dermo-calyptrogène*).

Avant de revenir avec insistance sur la discussion dont j'ai déjà dit quelques mots plus haut, il est essentiel que j'indique les caractères du tissu qui a donné lieu à tant de difficultés.

Il présente dans le *Silybum Marianum* les mêmes caractères que dans l'*Helianthus*. La radicule est recouverte par une coiffe qui, au sommet même, paraît complétement homogène ; elle y est formée de 15-18 couches de cellules concentriques. Dans la partie profonde, ces cellules sont aussi disposées en séries plus ou moins verticales, tout en conservant leur disposition en couches.

La couche la plus profonde de ce tissu, appuyée contre l'écorce, change de caractère en s'éloignant du sommet. Les cellules qui la constituent se distinguent de plus en plus de celles qui les recouvrent ; elles sont, au centre, aplaties, tabulaires ; bientôt elles deviennent cubiques, puis allongées radialement.

Les couches de la coiffe s'appuient latéralement, et les unes après les autres, contre différentes cellules de cette couche interne, et s'y terminent ; elles semblent formées par des divisions tangentielles de cette couche. Il en résulte que la coiffe, épaisse dans la région de l'axe, diminue d'épaisseur vers la périphérie ; la couche interne, de plus en plus différenciée, se

rapproche de la surface en s'éloignant du sommet. Elle se continue enfin directement avec l'épiderme extérieur; elle possède déjà les principaux caractères de l'épiderme de la jeune tigelle : c'est l'épiderme de la racine. Il ne jouera son rôle que lorsque la radicule se sera allongée, lorsque les assises les plus extérieures de la coiffe se seront exfoliées.

Quelle est l'origine première de cette coiffe et de cet épiderme qui ne se distinguent pas au sommet?

L'étude du développement de l'embryon peut seule nous l'apprendre. Comme les résultats obtenus par M. Hanstein, au point de vue du développement de l'embryon des Dicotylédones, paraissent confirmés par les observations ultérieures, c'est à ce travail que nous demanderons la solution de cette question.

Le développement du *Capsella Bursa-pastoris* a été étudié avec soin par M. Hanstein, qui en donne de nombreux dessins (1). La planche II nous fournit des documents particulièrement intéressants : on y voit que l'embryon est en rapport par son extrémité radiculaire avec le proembryon, et que le sommet de la radicule à peine ébauchée déborde les cellules de l'hypophyse ou les cellules de clôture formées par l'hypophyse ; l'hypophyse appartient au proembryon.

Les initiales du cylindre central de la radicule dépendent de l'embryon proprement dit ; mais les initiales de l'écorce sont formées par le segment terminal de l'hypophyse (S^1, dans les différentes figures de la pl. II). Les initiales de l'épiderme sont formées aussi par un segment de l'hypophyse (S^2) qui, en se divisant tangentiellement, forme l'ébauche de la coiffe (S^3). Les cellules issues de l'hypophyse se relient latéralement aux cellules de l'embryon. Les initiales de l'écorce ont donc une origine tout autre que la première ébauche de tissu cortical. Les initiales de l'épiderme ont une origine bien différente des cellules de l'épiderme déjà formées. A peine la cellule de l'hypophyse (S^2, fig. 31) s'est-elle divisée tangentiellement (fig. 32, 33) pour constituer une couche d'épiderme (S^2) et

(1) Hanstein, *Die Entwicklung des Keimes*, p. 5 et suiv.

une couche de coiffe (S^3), qu'une division tangentielle se produit dans la cellule épidermique la plus voisine de l'hypophyse. Elle se sépare aussi en une cellule d'épiderme (d^2) et en une cellule de coiffe (h, fig. 36). L'extrémité radiculaire augmentant de volume en même temps, l'épiderme de la jeune racine, formé de la partie moyenne de l'hypophyse (S^2) et de la partie interne de l'épiderme dédoublé (d^2), s'allonge dans le sens transversal; des cloisons radiales s'y produisent successivement à mesure que l'assise s'accroît (fig. 37-39). En même temps la coiffe, formée de la partie externe de l'hypophyse (S^3) et de la partie extérieure de l'épiderme dédoublé (h), s'allonge aussi dans le sens transversal et se divise par des cloisons radiales, comme l'épiderme sous-jacent.

Peu de temps après (fig. 42, pl. III), les cellules les plus centrales de l'épiderme recouvert par la première assise de coiffe se dédoublent de nouveau tangentiellement, et forment vers l'extérieur une nouvelle couche de coiffe; chacune des cellules de cette nouvelle couche, jointe à une cellule de l'épiderme qui lui est superposée, correspond à une cellule de la partie latérale de l'épiderme. L'épiderme extérieur correspond à l'assise extérieure de la coiffe et à l'épiderme interne (d^2); l'épiderme recouvert par une seule assise de coiffe correspond à l'épiderme dédoublé de nouveau (d^3) et à la deuxième assise de coiffe.

L'épiderme se dédouble donc successivement et indéfiniment dans sa partie profonde, et les assises provenant de ce dédoublement s'étendent latéralement par suite de l'accroissement transversal de ces couches; de sorte que dans l'embryon mûr du *Capsella* on trouve l'épiderme dédoublé trois fois.

L'épiderme ne peut être considéré, dans ces conditions, comme formé avant la coiffe; quand la cellule S^2 se divise, l'épiderme et la coiffe sont formés en même temps. Nous ne pouvons par conséquent juger de l'importance de l'épiderme relativement à la coiffe par leur âge relatif; tous deux sont formés par le même dédoublement d'une cellule : il y a simultanéité absolue.

La coiffe, comme l'épiderme, provient en partie de l'hypo-

physe, en partie de l'épiderme du proembryon; tous les deux ont une origine double, et la même des deux côtés : nous ne pouvons donc trouver dans leur origine un caractère plus solide.

Puisque nous ne trouvons, ni dans l'âge qui est le même, ni dans l'origine, qui est aussi la même, un caractère qui nous fixe sur l'importance relative de la coiffe et de l'épiderme de la racine; puisqu'en un mot, le développement de l'embryon ne nous donne pas la solution de ce point, nous devons la demander à l'organisation définitive.

L'épiderme primaire se dédouble au sommet de la racine du *Capsella*, c'est un fait ; il en est de même dans la plupart des Dicotylédones, c'est incontestable; mais ce n'est pas là une propriété exclusive de l'épiderme au sommet de la racine. D'une part, l'épiderme de beaucoup de tiges se dédouble pour former un *suber* épidermique, lorsque ces tiges ont besoin d'une protection spéciale. Cela n'arrive qu'à quelque distance du sommet dans la tige, parce qu'elle y est suffisamment protégée par les écailles et les feuilles du bourgeon qui la terminent.

Le sommet de la racine, n'ayant rien de semblable, se constitue un appareil protecteur par la formation d'un tissu subéreux.

Il arrive souvent que, dans les tiges, il se forme un suber, un périderme, par la division tangentielle d'un cambium subéreux, qui peut appartenir soit à l'épiderme (suber épidermique), soit aux assises corticales sous-jacentes. Il en est de même à l'extrémité de la racine; en effet ce n'est pas exclusivement à l'épiderme de la racine qu'appartient, dans les Dicotylédones, la propriété de former la coiffe. Dans quelques familles, l'épiderme y contribue très-peu, et les assises de l'écorce se dédoublent plus ou moins pour former la coiffe (Césalpiniées, Mimosées). Dans d'autres cas, les assises de l'écorce se dédoublent seules, et l'épiderme reste indivis.

Dans la tige, les cellules mères du suber se divisent successivement par des cloisons tangentielles, de sorte que toutes les cellules issues d'une même cellule mère soient alignées en files radiales rigoureusement superposées à leur cellule mère. C'est

absolument de la même manière que se forme la coiffe des Dicotylédones. Cette production de suber, soit épidermique, soit cortical, est plus abondante au sommet de la racine que dans les parties latérales, où elle cesse peu à peu ; les files de cellules superposées régulièrement au sommet sont déterminées par l'accroissement des parties latérales, à se déplacer et à chevaucher les unes sur les autres.

Qu'en pouvons-nous conclure, au point de vue qui nous occupe? Je pense qu'il résulte rigoureusement de ce que l'épiderme existe toujours et dès le principe au sommet d'une racine, qu'on peut donner le nom d'initiales de l'épiderme aux cellules dont il tire son origine.

Si, dans tous les cas, il formait la coiffe, j'hésiterais peut-être à lui donner le nom de dermo-calyptrogène, bien que je considère la formation de la coiffe comme un caractère d'adaptation à des conditions spéciales d'existence; mais il se trouve beaucoup de cas où il ne la forme pas, et par conséquent aucune assise ne peut alors être appelée spécialement dermo-calyptrogène.

En un mot, l'épiderme existant partout, et se différenciant toujours très-près du sommet, on peut dès le début lui donner le nom d'épiderme ; puisque l'épiderme n'engendre pas toujours la coiffe, on ne peut lui donner le nom de couche calyptrogène. Quant à l'appellation de dermo-calyptrogène, je la préférerais si l'épiderme était toujours calyptrogène, parce qu'elle a l'avantage de faire ressortir la communauté d'origine de l'épiderme et de la coiffe, mais ce n'est pas le cas général.

Je crois donc préférable de considérer l'épiderme comme un tissu primaire, et de regarder, avec M. Holle, la formation de la coiffe comme dépendant de certaines conditions physiologiques spéciales à la racine.

Comparons maintenant la radicule du *Silybum Marianum* à celle de l'*Helianthus*. Elle n'en diffère, je l'ai dit, que par quelques détails. Les initiales de l'écorce sont un peu plus grandes que dans l'*Helianthus;* l'assise sous-épidermique se divise tangentiellement. Ce fait est peu fréquent chez les Dico-

tylédones : M. de Janczewski l'a déjà signalé comme rare dans l'*Helianthus;* je l'ai vu s'y produire quelquefois. La coiffe s'étend dans le *Silybum* jusque plus loin du sommet; le cône radiculaire est plus allongé, plus élancé, comme s'il s'était produit un accroissement intercalaire postérieur au développement de l'embryon, plus considérable que dans l'*Helianthus*. La radicule de l'*Helianthus* ressemble du reste beaucoup à celle du *Silybum*.

Le *Xanthium orientale* L. présente une écorce développée tout entière en direction centripète ; les dimensions de sa radicule sont, à peu de chose près, les mêmes que dans le *Silybum*. Le *Crupina vulgaris* Cass., l'*Onopordon horridum* Viv., le *Silphium dissectum* Lamk, le *Centaurea alpina* L. se rapprochent énormément du *Silybum* et de l'*Helianthus*.

Il est à remarquer que, dans toutes ces plantes, les couches de la coiffe, une fois séparées de l'épiderme, restent presque toujours simples ou à peu près simples ; les plus profondes se divisent quelque peu tangentiellement, mais dans tous les cas elles recouvrent l'épiderme de couches concentriques régulières : il en résulte que les rapports de la coiffe avec l'épiderme sont très-nets. C'est peut-être pour cela que M. Reinke a choisi l'*Helianthus* comme l'exemple réunissant au plus haut degré les caractères du type qu'il croyait devoir considérer comme général.

L'étude des plantes de cette famille montre suffisamment que *l'épiderme a une origine commune avec la coiffe*, ce qui les distingue de toutes les Monocotylédones que nous avons observées.

Avant d'abandonner l'étude de cette famille, efforçons-nous encore de déterminer la limite entre la radicule et la tigelle.

La situation de la racine principale de l'embryon vis-à-vis de la tigelle est bien différente de celle de toute autre racine par rapport à l'organe qui la produit. La radicule est située dans le prolongement de l'axe de l'embryon ; les autres racines sont perpendiculaires à l'organe qui les forme.

La radicule et la tigelle sont le plus souvent dépourvues d'un système vasculaire bien organisé ; en dehors de quelques cas, d'ailleurs assez rares, il est impossible de déterminer, par la nature et la disposition du système vasculaire, des caractères distinctifs entre la racine principale et la tigelle avant la germination.

Mais la coiffe existe à la surface de toutes les jeunes racines, et particulièrement à la surface de la radicule de toutes les plantes; comme elle apparaît de très-bonne heure, sa présence nous fournira un moyen de reconnaître la limite entre la racine et la tige dans l'embryon.

Dans la plupart des cas, l'épiderme de la radicule, après avoir cessé de se diviser tangentiellement pour former la coiffe, se continue avec la partie interne de la base de la première cellule épidermique de la tigelle. La dernière cellule de la coiffe s'appuie contre la partie externe de la base de la même cellule épidermique; il en est ainsi dans beaucoup de Monocotylédones et dans la plupart des Dicotylédones.

La limite entre la radicule et la tigelle se trouve au point où se termine, contre l'épiderme extérieur, l'assise la plus externe de la coiffe. Dès le début de la germination, cette assise externe s'exfolie, et met à découvert l'assise plus profonde dont les cellules développent aussitôt les poils qui serviront à l'absorption. Elle présente donc dès lors les caractères d'un épiderme de racine, tandis que l'assise contre laquelle elle se termine présente dès ce moment tous les caractères d'un épiderme de tige ; il est lisse, souvent même cuticularisé extérieurement.

La différence anatomique entre l'épiderme de la racine et celui de la tige est un des caractères distinctifs importants de ces organes ; or cette différence existe dans l'embryon; elle nous permet d'établir d'une façon précise, pour ainsi dire mathématique, la limite entre la tige et la racine, mieux que tous les autres caractères, à peine ébauchés dans l'embryon.

Ajoutons que dans tous les cas où j'ai trouvé une différenciation du système vasculaire dans l'embryon, la structure des jeunes faisceaux confirme le caractère tiré de la différence des

deux épidermes. Il en est ainsi, par exemple, dans la plupart des Composées.

La limite entre la radicule et la tigelle se détermine de la même façon dans les embryons recouverts d'une gaîne radiculaire ; ils ne diffèrent des premiers, au point de vue qui nous occupe, que parce que l'épiderme de la radicule, au lieu de se continuer avec l'épiderme de la tigelle, est recouvert par un certain nombre d'assises du parenchyme cortical et par l'épiderme de cet organe. La limite entre la tigelle et la radicule se trouve au point où l'épiderme se continue avec l'une des assises corticales. Au-dessus est la tigelle, avec son épiderme lisse, souvent cuticularisé ; au-dessous est la racine dont les cellules vont se prolonger en poils. C'est ainsi que se comporte la radicule des Graminées, des Commélynées et de quelques autres familles de Monocotylédones. Nous en trouvons aussi quelques rares exemples chez les Dicotylédones (*Tropæolum*, *Mirabilis*).

On voit donc que s'il y a quelquefois des difficultés à établir d'une façon positive la limite entre la tige et la racine après la germination, à cause du développement intercalaire qui accompagne la rotation des faisceaux vasculaires, la structure et le fonctionnement des deux épidermes nous permettent de déterminer cette limite d'une façon rigoureuse avant la germination.

CAMPANULINÉES.

Campanulacées. — Les graines de ces plantes sont fort petites ; je n'ai jamais obtenu de résultats satisfaisants, en employant le procédé de préparation employé autrefois par M. Hanstein.

J'ai étudié avec plus de profit des coupes optiques obtenues en enlevant les embryons de l'albumen et en leur faisant subir la préparation par le chlorure de calcium sans les couper. Des coupes optiques traitées ainsi par le procédé de M. Treub sont fort utiles dans tous les cas où l'embryon est assez petit pour qu'on ne puisse en obtenir des coupes sans éprouver des difficultés considérables.

L'embryon du *Campanula laciniata* L., et celui du *Campanula pyramidalis* L., se ressemblent beaucoup. Le cylindre central est épais de huit files de cellules, au point où il atteint sa plus grande épaisseur ; il y a à son sommet trois initiales : la médiane, allongée dans le sens de l'axe, donne naissance à deux files de cellules ; les deux latérales se dédoublent pour former vers l'extérieur le péricambium, qui reste simple ensuite, et vers l'intérieur une file qui se dédouble une ou deux fois. Les files cellulaires formées par l'initiale médiane peuvent aussi se dédoubler. Les divisions ont lieu dans le cylindre central d'une façon assez irrégulière : les cellules sont allongées ; celles d'une même file sont séparées les unes des autres par des cloisons transversales obliques ; elles présentent, en un mot, les caractères ordinaires d'un tissu procambial. Le péricambium est différencié de très-bonne heure, mais il est absolument évident qu'il n'entoure pas le cylindre central au sommet.

L'écorce est parfaitement distincte du cylindre central ; on y trouve trois ou quatre initiales, une ou deux centrales et deux latérales. Les initiales latérales, en se divisant tangentiellement, forment l'assise sous-épidermique et une assise interne qui se divise deux fois en direction centripète. L'écorce est donc formée finalement de quatre files de cellules de chaque côté.

L'épiderme a ses initiales spéciales, comme dans les Composées ; il forme la coiffe par la division tangentielle de ses cellules les plus profondes. La coiffe se compose de trois couches concentriques ; la plus extérieure est la plus ancienne, la plus interne est la plus jeune. Il n'y a au sommet aucune différenciation anatomique entre les initiales de l'épiderme et l'assise la plus profonde de la coiffe ; mais l'épiderme se différencie davantage à mesure qu'il se rapproche de la surface ; au point où il devient extérieur, il est formé de cellules à peu près cubiques, plus grandes que celles des assises corticales sous-jacentes.

En somme, la structure de la radicule des *Campanula* est la même que celle des Composées, mais leur développement est moins considérable.

Il faut remarquer que le développement de l'écorce est abso-

lument centripète, et qu'elle présente au sommet quatre initiales.

LONICÉRINÉES.

Dipsacées, Valérianées. — On sait qu'il existe entre les Dipsacées et les Valérianées de très-grands rapports qui les ont fait réunir par A. L. de Jussieu en une même famille. Ces plantes présentent, au point de vue de la structure du sommet de leur racine, des variations intéressantes.

L'embryon des Valérianées est, en général, moins grand que celui des Dipsacées. J'ai étudié deux plantes de cette famille : le *Centranthus macrosiphon* et le *Centranthus Calcitrapa* Dufr. Leur radicule présente absolument les mêmes caractères : tous les tissus y sont nettement spécialisés jusqu'au sommet ; moins développés que dans le *Silybum*, ils le sont plus que dans les *Campanula*, dont ils ne diffèrent que par le degré de développement des tissus.

Les initiales du cylindre central sont irrégulières et de nombre variable.

Le développement de l'écorce est exclusivement centripète.

Le sommet de la radicule des Dipsacées a une structure variable. M. Russow avait indiqué le *Cephalaria* comme possédant les caractères généraux de l'*Helianthus*. M. Eriksson cite le *Morina elegans* comme formant un terme de transition entre le type de l'*Helianthus* et son deuxième type, caractérisé par le méristème commun à l'écorce, à l'épiderme et à la coiffe ; il croit pourtant devoir placer cette plante dans son premier type (1).

La radicule du *Scabiosa calocephala* Boiss. présente d'une façon générale la structure de celle des Composées. Le cylindre central, l'écorce, l'épiderme avec la coiffe, forment au sommet trois tissus distincts. On y trouve trois initiales du cylindre central, dont une médiane.

Comme dans les Composées, il y a une seule couche d'ini-

(1) Voy. Eriksson, *loc. cit.*, p. 44.

tiales de l'écorce. La coiffe présente cette particularité intéressante que ses assises se divisent beaucoup plus fréquemment que dans les Composées, indépendamment des divisions de l'épiderme qui leur ont donné naissance; la coiffe acquiert par suite un grand développement.

La radicule du *Dipsacus fullonum* Mill. est moins développée que la précédente, mais elle ne présente avec elle que des différences de dimension ; la coiffe notamment présente les mêmes caractères.

Le *Cephalaria ambrosioides* Boiss. (fig. 15) a un embryon plus grand que les plantes précédentes; la radicule surtout est beaucoup plus développée.

Le cylindre central, épais de dix ou onze files de cellules, se réduit au sommet à un groupe d'initiales disposées assez irrégulièrement. On peut cependant en distinguer une centrale, qui n'appartient évidemment pas au péricambium; cette assise est différenciée tout près du sommet, mais ne le recouvre pas. Le cylindre central se divise sans régularité appréciable.

L'écorce a un développement moins régulier que dans les Dicotylédones que nous avons étudiées jusqu'ici. La comparaison de coupes très-nombreuses, et surtout de séries de coupes appartenant au même embryon, m'a donné la certitude qu'elle ne se réduit pas au sommet à une seule couche d'initiales ; il y en a trois, irrégulièrement disposées les unes sur les autres ; la plus interne de ces trois couches forme, en se divisant en direction centripète jusque très-loin du sommet, la partie la plus considérable de l'écorce. Toutes ses divisions n'ont pas lieu pourtant en direction rigoureusement centripète. La couche moyenne et la couche extérieure se divisent irrégulièrement et faiblement, de façon à constituer enfin à elles deux le quart de l'écorce seulement.

Les initiales de l'écorce ne sont pas nettement séparées des initiales de l'épiderme et de la coiffe, au sommet. Les cellules les plus profondes de la coiffe ne se distinguent des initiales de l'écorce que par leur forme aplatie tangentiellement ; elles s'emboîtent entre les initiales de l'écorce de façon à paraître

parfois résulter du dédoublement de ces initiales (fig. 14). Cependant, comme les cellules de la coiffe sont, au voisinage de l'axe, disposées en séries verticales régulières qui alternent avec les initiales de l'écorce, on peut déterminer par là leur nature.

A mesure qu'on s'éloigne de la région axiale pour aller vers les parties périphériques, la coiffe devient moins épaisse; les couches qui la constituent se terminent successivement contre l'épiderme. Mais dans ces parties périphériques, les couches de la coiffe se divisent fréquemment, indépendamment des divisions de l'épiderme; les couches nouvelles se plaçant entre les divisions normales, il en résulte une confusion assez grande à la périphérie.

Il faut ajouter que l'épiderme n'acquiert de caractères anatomiques particuliers que très-loin du sommet, et qu'on le distingue à peine par la forme de ses cellules des assises corticales qu'il recouvre. On rencontre çà et là des cellules épidermiques divisées tangentiellement; en un mot, il y a entre les assises extérieures de l'écorce et l'épiderme une différenciation très-faible.

L'irrégularité du développement de l'écorce, le peu de différenciation anatomique de ce tissu vis-à-vis de l'épiderme et de la coiffe, l'irrégularité du développement de la coiffe dans les parties latérales, sont autant de caractères qui contribuent à détruire au sommet de cette racine la netteté des rapports entre les différents tissus primaires.

Mais il est bon de faire observer que, s'il y a dans cette racine un manque de différenciation anatomique entre les différentes parties, il y a, d'autre part, une multiplication considérable et irrégulière des éléments cellulaires, d'où résulte une confusion des tissus.

Ces deux phénomènes, absence de différenciation et confusion par suite de multiplication très-abondante, se produisent ordinairement ensemble, mais il ne faut pas les confondre. Dans le cas présent, ils se présentent en même temps; nous rencontrerons bien des cas où l'une de ces causes agit seule pour con-

fondre les tissus au sommet. Je suis très-porté à croire, par la comparaison avec les autres Dipsacées que j'ai étudiées, que la multiplication excessive des cellules n'est pas dans le *Cephalaria* la cause exclusive, mais la cause principale du peu de distinction que je viens de signaler entre les tissus primaires.

Caprifoliacées. — L'embryon du *Sambucus nigra* L. et du *S. racemosa* L., plus grand que celui des *Campanula*, s'en distingue peu pourtant par sa structure anatomique. Les cellules y sont beaucoup plus grandes.

C'est par les dimensions plus considérables des éléments cellulaires, et non par leurs rapports, que la radicule des *Sambucus* diffère de celle des *Campanula*. Le cylindre central, l'écorce, l'épiderme, présentent les mêmes caractères ; la coiffe est formée de cinq couches régulièrement concentriques, tandis qu'elle en a trois seulement dans le *Campanula laciniata*. Il est, par conséquent, inutile que j'entre dans une description plus détaillée.

COFFÉINÉES.

Rubiacées. — La radicule du *Galium Aparine* L. est un peu moins développée que celle du *G. macrocarpum* Boiss. ; elle n'en diffère pourtant pas au point de vue anatomique.

Toutes deux ont la même structure que celle des Composées.

Le cylindre central est indépendant jusqu'au sommet, où un petit groupe de cinq ou six cellules engendre tout le cylindre, y compris la couche péricambiale, qui se différencie toutefois avant toutes les autres couches.

L'écorce se forme en direction rigoureusement centripète, aux dépens d'une seule couche de 4-5 initiales, que je n'ai jamais vues plus grandes que les cellules qui en proviennent. Il faut noter que, dans ces deux espèces, j'ai rencontré quelquefois l'assise la plus extérieure de l'écorce (assise sous-épidermique) divisée tangentiellement en deux assises à une distance considérable du sommet; mais ce fait n'est pas général.

La coiffe est formée par l'épiderme, comme dans les Com-

posées ; elle est constituée dans le *G. Aparine* par cinq couches, dans le *G. macrocarpum* par six couches régulièrement concentriques et dépourvues de toute division ultérieure.

La radicule du *Rubia tinctorum* L. a un diamètre double de celle du *G. macrocarpum*.

Le cylindre central est plus épais que dans les *Galium ;* il présente un grou peirrégulier d'initiales, aux dépens desquelles le péricambium se forme à peu de distance du sommet. Les couches du cylindre central se forment sans régularité appréciable.

L'écorce, fort épaisse, a au sommet trois couches d'initiales qui ne se distinguent des initiales du cylindre central qu'avec un peu d'attention ; leurs dimensions sont les mêmes ; les unes et les autres ne sont pas très-régulières. La couche interne d'initiales de l'écorce forme, par des divisions centripètes nombreuses, toute l'écorce, sauf les deux couches externes, qui ne se divisent pas ordinairement ; elles sont formées directement par le développement latéral des deux couches extérieures d'initiales, sans se diviser ; l'assise extérieure (sous-épidermique) se divise pourtant quelquefois en deux couches, mais seulement à quelque distance du sommet.

Remarquons, en passant, que toutes les Dicotylédones observées jusqu'à présent nous ont montré un développement principalement centripète de l'écorce. Dans le *Rubia*, le développement est encore centripète ; mais les divisions tangentielles centripètes me paraissent avoir atteint les initiales elles-mêmes, par suite du grand développement de l'organe : nous retrouverons cette particularité dans beaucoup de plantes. M. Eriksson a insisté sur un grand nombre de cas analogues.

La coiffe du *Rubia* est formée en direction centripète par l'épiderme, comme celle des Composées ; elle est constituée par 9-10 couches régulièrement concentriques, qui demeurent indivises après leur séparation d'avec l'épiderme. Imaginons qu'au lieu de rester indivises les couches de la coiffe se dédoublent abondamment, comme dans le *Cephalaria ;* elles deviendront de moins en moins régulières, et, si les initiales de l'écorce se

divisent elles-mêmes irrégulièrement, comme dans le *Cephalaria*, il pourra arriver un moment où l'on ne distinguera plus la limite entre la coiffe et l'écorce. N'en est-il pas ainsi, par exemple, pour le *Coffea arabica*, que M. Eriksson signale comme ayant un méristème spécial pour le cylindre central, et un méristème commun pour l'écorce, l'épiderme et la coiffe? Je n'ai pu étudier l'embryon de cette plante ; je ne puis donc émettre à ce sujet qu'une hypothèse; mais nous la verrons se vérifier bien souvent dans la suite.

Remarquons seulement que le mode de structure du *Rubia* est dû à un grand accroissement cellulaire, et non pas à un manque de différenciation.

ASCLÉPIADINÉES.

Apocynées. — L'embryon des Apocynées que j'ai étudiées présente les trois groupes d'initiales que j'ai décrites en détail chez les Composées.

La radicule du *Vinca major* L. est étroite ; le cylindre central m'a toujours paru réduit dans l'embryon à trois initiales, dont une médiane semble former la partie axiale du cylindre; les deux latérales se divisent une ou deux fois; leur première division forme le péricambium. Les divisions du cylindre central sont irrégulières. Je n'ose affirmer d'une façon positive que l'initiale médiane soit spéciale à la partie axiale du cylindre ; on pourrait croire au premier coup d'œil qu'elle appartient au péricambium, et que cette assise recouvre tout le cylindre. C'est l'avis de M. Eriksson ; il considère la continuité du péricambium comme un fait général chez toutes les Dicotylédones où il y a une limite nette entre le cylindre central et l'écorce ; il affirme même qu'on ne peut préciser la limite entre ces deux tissus que dans le cas où le péricambium est continu. Je ne puis partager sur ce point l'opinion de cet observateur. Dans les Dicotylédones étudiées jusqu'à présent, il n'était pas possible de mettre en doute la discontinuité du péricambium. Dans le *Vinca*, l'initiale médiane est aplatie, elle a la même forme que

les cellules péricambiales et semble se relier directement aux parties périphériques de cette assise; mais les initiales latérales ne peuvent pas être considérées comme appartenant au péricambium, car elles se divisent nettement dans le sens tangentiel: c'est l'assise extérieure formée par ce dédoublement qui constitue le péricambium (fig. 16). Les deux cellules latérales sont donc initiales d'une partie du cylindre central; elles ne sont pas spéciales à l'assise péricambiale; à plus forte raison, la cellule médiane ne fait pas partie de cette assise.

Malgré cela, et quoi qu'en dise M. Eriksson, l'écorce est distincte du cylindre central au sommet; la régularité du développement de l'écorce suffit, dans le cas actuel, pour les distinguer l'un de l'autre.

L'écorce présente des caractères très-nets. Deux initiales, un peu plus grandes que les cellules qui en proviennent, fournissent toute l'écorce en direction exclusivement centripète (fig. 16).

L'assise épidermique forme la coiffe peu épaisse qui la recouvre; l'épiderme est peu différencié par rapport à l'écorce; les assises de la coiffe ne demeurent pas absolument indivises. On y reconnaît cependant au sommet cinq couches, dont les plus internes sont les plus jeunes.

La radicule de l'*Apocynum venetum* L. est plus volumineuse que celle du *Vinca;* elle possède les mêmes caractères généraux; le cylindre central est plus épais, mais son sommet ne diffère pas de celui du *Vinca*. L'écorce a aussi deux initiales et se développe en direction centripète.

La coiffe se compose de sept couches : les couches externes sont indivises et s'appuient de la façon la plus nette contre l'épiderme; les couches les plus profondes sont divisées tangentiellement; elles recouvrent pourtant le cône radiculaire sans se confondre.

M. Eriksson a étudié les racines de l'*Allamanda neriifolia;* il y a trouvé deux assises d'initiales de l'écorce : la plus interne des deux forme presque toute l'écorce; l'externe ne produit qu'une ou deux assises.

Le même auteur a observé aussi de la façon la plus attentive quelques autres plantes de l'ordre des Asclépiadinées. Parmi les Asclépiadées, il décrit avec soin et figure le *Hoya carnosa* et le *Stephanotis floribunda* (1). Le *Stephanotis* a, comme l'*Allamanda* (Apocynées), deux assises d'initiales de l'écorce; c'est l'interne qui forme toute l'écorce en direction centripète, l'externe ne formant que l'assise sous-épidermique.

L'*Asclepias curassavica* a la même structure. Les racines adventives de l'*Hoya carnosa* présentent trois assises d'initiales de l'écorce, comme le *Rubia*, dont j'ai décrit la structure (page 93).

L'auteur insiste davantage encore sur la racine du *Minyanthes trifoliata* et du *Villarsia nymphoides* (Gentianées).

Les radicelles du *Minyanthes* ont deux assises d'initiales de l'écorce (2) ; les jeunes racines adventives du *Villarsia* en ont 3-4 assises. En vieillissant, l'écorce accroît considérablement le nombre de ses assises d'initiales; après un an, elles peuvent en avoir jusqu'à douze, qui se développent toujours en direction centripète. L'activité des initiales de l'écorce augmente, dit M. Eriksson ; au contraire, la coiffe se développe moins vigoureusement après un an qu'à l'état jeune (3).

Le changement considérable qui se produit au sommet d'une racine de *Minyanthes* à quelques mois d'intervalle me paraît instructif. Je partage complétement l'avis de M. Eriksson, qui considère ce changement comme le résultat d'une augmentation d'activité des initiales de l'écorce ; mais il me semble montrer suffisamment qu'il faut attacher peu d'importance, non-seulement au plus ou moins grand accroissement anatomique, mais aussi à la possibilité plus ou moins grande de distinguer entre eux les tissus primaires. Dans la figure 11 du mémoire de M. Eriksson, représentant la racine âgée du *Villarsia*, par exemple, la distinction anatomique entre la coiffe et l'écorce est presque nulle au sommet; il suffira que quelques

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 410, et pl. XX, fig. 9; p. 408, et pl. XX, fig. 8.
(2) Id., *ibid.*, p. 405, et pl. XIX, fig. 3-7.
(3) Id., *ibid.*, p. 411, et pl. XXI, fig. 10-13.

cellules perdent un peu de la régularité de leur situation pour effacer la limite entre la coiffe et l'écorce, et, par cela même, pour faire passer une plante du premier type dans le deuxième.

Quoi qu'il en soit à cet égard, remarquons, avant de quitter ce groupe, que la radicule des deux embryons d'Apocynées que j'ai observés ont une structure beaucoup plus simple que les racines de toutes les plantes du même ordre observées jusqu'à présent.

CONVOLVULINÉES.

Convolvulacées. — M. Eriksson a décrit et figuré le sommet végétatif du *Convolvulus Cneorum* L. Dès l'état jeune, il ressemble beaucoup au sommet de la racine âgée du *Villarsia*, en ce sens qu'il présente cinq ou six assises d'initiales de l'écorce.

La radicule des Convolvulacées est en général fort développée, l'embryon de ces plantes atteignant le plus souvent de grandes dimensions. Je n'ai pu étudier la radicule du *Convolvulus Cneorum*, mais j'ai confirmé sur la racine les observations de M. Eriksson.

La radicule du *Convolvulus Scammonea* L. possède un cylindre central épais jusqu'au sommet; le groupe d'initiales est plus considérable que dans toutes les plantes que j'ai décrites jusqu'à présent; il est en même temps fort irrégulier (1). Le péricambium paraît plus indépendant que nous ne l'avons trouvé jusqu'ici, mais je n'ose cependant affirmer qu'il le soit réellement; car s'il n'est pas certain que les cellules de l'assise extérieure se divisent tangentiellement, le dessin que je viens de citer, et qui est fort exact, laisse quelque doute au sujet de l'indépendance de quelques-unes d'entre elles. Quoi qu'il en soit, le péricambium est formé de très-bonne heure; le reste du cylindre se développe assez irrégulièrement; on y reconnaît pourtant une tendance à la division centrifuge.

L'écorce présente quatre couches d'initiales, dont les exté-

(1) La figure 14 du mémoire de M. Eriksson en donne une idée fort exacte.

rieures restent simples, et dont les plus internes forment en direction centripète la plus grande partie de l'écorce; la régularité de ses divisions est moins grande que dans les Composées.

L'épiderme, par des divisions tangentielles successives, forme la coiffe très-puissante constituée finalement par 18 couches concentriques, résultant, les unes de la segmentation directe du jeune épiderme, les autres de la division plus ou moins régulière des premières. Comme il arrive toujours lorsque les couches se dédoublent postérieurement à leur formation, la coiffe perd plus ou moins sa régularité.

Le *Convolvulus tricolor* L. a une radicule un peu moins volumineuse que le *C. Scammonea;* on n'y trouve que trois couches d'initiales de l'écorce. Les cellules axiales de la coiffe sont visiblement disposées en files verticales assez régulières.

L'*Ipomœa purpurea* Lamk ressemble beaucoup par les caractères de sa racine au *C. Scammonea*. Les initiales du cylindre central sont disposées un peu plus régulièrement. Le péricambium peut à la rigueur être considéré comme continu au sommet, aussi bien que dans le *C. Scammonea*. L'écorce a tantôt 3, tantôt 4 couches d'initiales. La coiffe diffère de celle du *C. Scammonea* par la disposition de ses cellules axiales, qui forment 5-6 séries verticales dans toute la hauteur de la coiffe.

Je ne pouvais, en étudiant les Convolvulacées, passer sous silence les observations intéressantes de M. L. Koch (1) sur la structure des racines et des suçoirs de la Cuscute. Cet auteur a montré, et ses affirmations sont appuyées de nombreuses figures, que l'embryon des Cuscutes est dépourvu de toute espèce de coiffe. Les différents tissus ne se réunissent pas au sommet en un groupe plus ou moins différencié; l'épiderme ne recouvre pas toute la racine et ne subit aucune division tangentielle qui puisse donner lieu à la formation d'une trace de coiffe. Les cellules du sommet de l'écorce et du cylindre central sont exté-

(1) L. Koch, *Unters. über Entwickl. der Cuscuteen* (Bonn, *Bot. Abhandl.*, 1874).

rieures, libres; ces caractères remarquables persistent au sommet de la racine après la germination. Mes observations sur la radicule du *Cuscuta major* DC. et du *C. minor* DC. confirment celles de M. Koch; la structure du sommet radiculaire de ces plantes diffère essentiellement de celui des Dicotylédones en général. Y a-t-il en réalité une radicule dans les Cuscutes? La structure du système vasculaire dépourvu encore de toute différenciation ne nous apprend rien sur ce point; son sommet végétatif ne possède pas les caractères d'une racine: je ne crois pas devoir, par suite, le considérer comme constituant une racine rudimentaire; il y a, selon moi, absence de l'organe plutôt que dégradation.

Polémoniacées. — Les Polémoniacées, qui présentent d'ailleurs avec les Convolvulacées de nombreuses affinités, leur ressemblent aussi beaucoup au point de vue de la structure du sommet de la racine. L'embryon est très-développé, comme celui des Convolvulacées. La radicule du *Phlox paniculata* L., par exemple, possède un cylindre central épais jusqu'au sommet, qui paraît recouvert complétement par le péricambium; comme dans les *Convolvulus*, il me paraît douteux qu'il faille considérer cette assise comme continue, car il y a toujours au sommet quelques cellules dont l'indépendance n'est pas évidente. Nous savons déjà que le péricambium n'est pas habituellement indépendant au sommet; il est possible qu'il le soit dans les Convolvulacées et les Polémoniacées, mais je ne vois pas quelle importance cela peut avoir. C'est une question de différenciation plus ou moins rapide; nous en connaissons déjà plusieurs exemples pour les autres tissus primaires.

L'écorce est puissante; elle se réduit à deux couches d'initiales: l'assise externe forme la couche sous-épidermique et demeure absolument simple; l'assise interne, réduite à deux initiales, forme tout le reste de l'écorce en direction centripète.

La coiffe est formée par l'épiderme et se compose seulement de huit couches, assez régulièrement concentriques.

La radicule du *Polemonium cæruleum* L. est beaucoup moins épaisse que celle du *Phlox paniculata* L., et possède les

mêmes caractères généraux. La coiffe n'est formée que de sept couches.

Résumons en quelques mots ce que nous a appris l'observation des différentes Convolvulinées que nous avons étudiées. Le cylindre central est toujours épais; le péricambium est peut-être indépendant au sommet. *L'écorce a deux ou plusieurs couches d'initiales* qui se développent presque exclusivement en direction centripète. La coiffe est formée par l'épiderme et se compose d'un nombre variable de couches qui se divisent indépendamment après s'être séparées de l'épiderme.

ASPÉRIFOLIÉES.

Borraginées. — Les Borraginées présentent, au point de vue qui nous occupe, les plus grandes ressemblances avec les Composées. La structure du sommet de leur racine est encore plus nette.

Dans le *Cynoglossum officinale* L., que je prends pour exemple, le cylindre central a un développement plus régulier que dans toutes les plantes étudiées jusqu'ici. Il est absolument incontestable que le péricambium n'est pas continu au sommet (fig. 17); on y trouve une cellule plus grande que les autres; elle ne donne naissance qu'aux files centrales du cylindre qui se divisent tangentiellement assez près du sommet et d'autant plus loin du sommet qu'elles sont plus extérieures. Le péricambium est formé de chaque côté par la première division d'une initiale latérale; la file interne résultant de la division tangentielle de cette initiale latérale se divise de nouveau, assez loin du sommet, de sorte que le développement général du cylindre est centrifuge. Les cellules qui le constituent sont allongées.

L'écorce provient de deux initiales un peu plus grandes que les cellules voisines; elles forment successivement toutes les assises de l'écorce en direction centripète; quelquefois il s'y produit une ou deux divisions irrégulières.

L'épiderme est différencié jusque très-près du sommet, par rapport à l'écorce et à la coiffe; il se distingue de très-bonne

heure par ses cellules allongées dans le sens radial; il se divise 6-7 fois pour former la coiffe, dont les assises restent ensuite presque indivises.

L'*Anchusa italica* Rchb. a les mêmes caractères que le *Cynoglossum*. Dans le *Symphytum asperrimum* Sims. les initiales du cylindre sont un peu moins régulières; le péricambium n'est pas plus continu que dans la Cynoglosse.

Le *Paracaryum cappadocicum* Boiss. a au moins cinq initiales du cylindre central, beaucoup plus large que dans les plantes précédentes. Par la netteté de leurs caractères, par la différenciation anatomique de leurs tissus, les Borraginées pourraient représenter, mieux encore que les Composées, le « type de l'*Helianthus* ».

SOLANINÉES.

Solanées. — Les racines adventives du *Solanum tuberosum* constituent, d'après M. Eriksson (1), un terme de transition entre le type de l'*Helianthus* et la « modification du *Linum* », c'est-à-dire qu'elles présentent tantôt une, tantôt deux couches d'initiales de l'écorce.

J'ai étudié la radicule de plusieurs plantes de cette famille : les dimensions de l'embryon sont très-variables; la comparaison de plusieurs d'entre eux montre quelques faits intéressants.

L'embryon de l'*Hyoscyamus niger* L. est le plus petit de ceux que j'ai observés dans cette famille. Les initiales du cylindre central sont en nombre variable, il y en a quatre, cinq ou six; les files du cylindre se forment très-irrégulièrement; on peut cependant leur attribuer un développement vaguement centrifuge. Le péricambium paraît ordinairement couvrir tout le cylindre; du moins je ne puis affirmer positivement qu'il se dédouble tangentiellement près du sommet.

L'écorce présente deux couches d'initiales : l'externe reste simple, ne se divise que radialement, et constitue l'assise sous-

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 408.

épidermique ; l'assise interne forme le reste de l'écorce en direction centripète. Il faut remarquer pourtant que les couches de l'écorce, une fois formées, ne sont pas très-régulières ; elles paraissent se dédoubler parfois ou même se réunir avec les couches voisines.

La coiffe est peu développée et formée tout entière par l'épiderme.

La radicule du *Datura Stramonium* L. a des dimensions doubles de celles de l'*Hyoscyamus*, mais elle n'en diffère que par ses dimensions.

L'*Atropa Belladonna* L. se rapproche du *Datura* par ses dimensions, mais on n'y trouve qu'une seule couche d'initiales de l'écorce, qui se divise d'ailleurs en direction exclusivement centripète. La coiffe ne se compose que de six couches.

La radicule du *Solanum glaucophyllum* Desf. est notablement plus épaisse que celle des plantes précédentes. Il est possible qu'ici, comme dans les autres Solanées observées, le péricambium soit continu au sommet ; on ne peut affirmer qu'il y soit interrompu.

L'écorce se forme en direction rigoureusement centripète aux dépens de deux assises d'initiales assez irrégulières ; les cellules polyédriques dont elles sont formées se distinguent difficilement des assises profondes de la coiffe. La coiffe est formée tout entière par les divisions tangentielles successives de l'épiderme ; elle se compose de seize à dix-huit couches très-irrégulières dans les parties extérieures, où l'on ne reconnaît pas de disposition concentrique. Les parties profondes sont un peu plus nettes, grâce à la forme aplatie des cellules qui les composent.

Le *Mandragora vernalis* Bert. a un embryon plus considérable que celui de toutes les autres Solanées que j'ai observées.

Le cylindre central est très-puissant, parfaitement limité par rapport à l'écorce (fig. 18), bien que le péricambium ne l'entoure pas complétement. L'écorce est fort épaisse ; son développement est presque exclusivement centripète ; elle se

réduit peu à peu, en se rapprochant du sommet, à deux couches d'initiales situées plus irrégulièrement que celles du *Solanum ;* elles sont moins bien limitées par rapport à la coiffe que par rapport au cylindre central. Dans quelques coupes, paraissant d'ailleurs exactement axiales, je n'ai pu préciser si toujours il n'y a que deux couches d'initiales, tant elles se confondent facilement avec les cellules profondes de la coiffe (fig. 18).

La coiffe, entièrement formée par la segmentation de l'épiderme, se compose de couches nombreuses et irrégulières, fréquemment dédoublées, en dehors de toute participation de l'épiderme. Dans les parties profondes, les cellules sont un peu disposées en séries verticales.

En somme, les caractères généraux des Solanées les rapprochent beaucoup des Convolvulinées. Chez les unes comme chez les autres, on observe fréquemment une certaine irrégularité des tissus; on remarque aussi que chez les Solanées qui ont une radicule très-développée, l'écorce a une organisation plus complexe que chez celles qui ont un embryon plus petit. Comme dans les Dipsacées et les Convolvulacées, je pense que c'est le résultat d'une confusion due au grand accroissement des tissus, lors du développement de l'embryon.

PERSONÉES.

Scrofulariées. — Après avoir constaté, comme nous l'avons fait, que le sommet de la racine des Solanées présente dans plusieurs genres des caractères notablement différents, l'étude comparative de ces plantes avec les familles qui s'en rapprochent le plus présente quelque intérêt.

L'embryon des Scrofulariées est en général moins volumineux que celui des Solanées ; il est souvent très-petit.

Le *Rhinanthus glaber* Lamk. est, de toutes les plantes que j'ai observées dans cette famille, celle qui possède l'embryon le plus volumineux. La radicule a la forme d'un cône allongé ; elle est plus étroite que dans toutes les Solanées étudiées.

Le cylindre central étroit présente en coupe longitudinale huit à dix files cellulaires; il est formé par un groupe de trois à cinq initiales; les deux ou trois initiales centrales sont allongées dans le sens de l'axe, ce qui ne permet pas de considérer le péricambium comme continu : cette assise est formée latéralement très-près du sommet.

L'écorce, réduite à deux initiales un peu plus grandes que les cellules voisines, se développe exclusivement en direction centripète; elle se compose finalement de six couches.

La coiffe, composée de quatre assises concentriques absolument simples, très-régulières, est formée par l'épiderme; les cellules de chaque assise de la coiffe, étant beaucoup plus grandes dans la région axiale, contribuent beaucoup à donner à la radicule sa forme conique.

La radicule de l'*Antirrhinum majus* L. et du *Scrofularia canina* L. ne peut être étudiée qu'au moyen de coupes optiques, obtenues en dégageant le petit embryon de son albumen, et en le traitant à la manière ordinaire par le chlorure de calcium.

Le *Linaria Cymbalaria* Mill. et le *Pedicularis silvatica* L. ont une radicule encore moins développée. Le sommet de la racine de toutes ces plantes présente les mêmes caractères généraux que celui du *Rhinanthus*.

Le péricambium n'entoure jamais le cylindre central, qui est toujours étroit. Le nombre des initiales de l'écorce est en général de deux; il y en a quatre dans l'*Antirrhinum* et dans le *Pedicularis*. L'écorce se développe exclusivement en direction centripète. La coiffe, toujours formée par l'épiderme, est composée de couches qui, après leur séparation d'avec l'épiderme, demeurent absolument simples; elle est formée de deux couches seulement dans le *Linaria Cymbalaria* et le *Pedicularis silvatica* (1).

(1) M. Reinke a figuré le sommet végétatif d'une racine embryonnaire de *Veronica Beccabunga* (pl. I, fig. 3, *loc. cit.*). Cette figure, quoique schématisée, montre d'une façon suffisante la structure de la radicule des plantes de cette famille. M. Eriksson a observé que dans la racine développée, il y a ordinairement deux assises d'initiales de l'écorce (*loc. cit.*, p. 409).

Toutes ces plantes diffèrent des Solanées en ce que leurs tissus se développent avec une régularité beaucoup plus grande. Dans les Solanées, tous les tissus sont très-irréguliers ; les cellules paraissent chevaucher les unes sur les autres. Dans les Scrofulariées, ils sont développés avec la plus grande netteté. Le large cylindre central des Solanées paraît être entouré complétement par le péricambium ; la forme des initiales du cylindre, qui sont allongées dans le sens de l'axe chez les Scrofulariées, montre que le péricambium n'y entoure jamais le cylindre.

Le *Verbascum Thapsus* Poll. ressemble beaucoup, au point de vue qui nous occupe, au *Rhinanthus glaber*. La radicule est un peu plus courte, plus arrondie à l'extrémité et composée de quatre couches simples très-régulières ; elles recouvrent l'écorce, développée tout entière en direction centripète et formée aux dépens de trois initiales. Le péricambium n'est pas indépendant du reste du cylindre. Par la structure du sommet de la racine, c'est donc aux Scrofulariées plutôt qu'aux Solanées que se rattache le *Verbascum*.

Parmi les *Utriculariées*, j'ai étudié l'embryon du *Pinguicula vulgaris* L., malgré ses petites dimensions ; il est plus petit encore que celui du *Linaria Cymbalaria*, mais n'en diffère pas au point de vue anatomique.

A côté des Scrofulariées et des Utriculariées, remarquables par la petitesse de leurs embryons, se rangent quelques familles dont l'embryon dépourvu d'albumen est au contraire très-développé.

Ce sont notamment les *Bignoniacées* et les *Acanthacées*. Ces familles vont nous fournir des points de comparaison intéressants.

D'après M. Eriksson (1), la racine du *Goldfussia isophylla* possède des initiales spéciales au cylindre central et un méristème commun à l'écorce, à l'épiderme et à la coiffe ; elle appartient donc à son deuxième type.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 414.

La radicule de l'*Acanthus mollis* L., ainsi que celle de l'*A. spinosus* L., est très-large, très-volumineuse. Le cylindre central est épais; on ne peut jamais, à ce qu'il me semble, y considérer le péricambium comme continu au sommet, comme entourant tout le cylindre. L'écorce est très-puissante; il n'est pas possible de dire que son développement soit centripète, car les divisions y sont très-nombreuses et fort irrégulières. Au sommet, le cylindre central est séparé des assises qui appartiennent incontestablement à la coiffe par trois ou quatre couches d'initiales de l'écorce; la plus externe d'entre elles ne peut être considérée comme spéciale à l'écorce ou à la coiffe : il n'y a entre les assises d'initiales de l'écorce et les cellules profondes de la coiffe aucune différence; les unes comme les autres sont petites, divisées très-activement par des cloisons irrégulières. Dans les parties latérales, la différenciation se produit peu à peu. L'épiderme apparaît à quelque distance de la ligne médiane. La coiffe se distingue nettement dès le moment où il est possible de reconnaître l'épiderme.

Dès qu'on peut la distinguer des initiales communes, la coiffe se montre formée par les divisions tangentielles de l'épiderme; elle atteint une grande épaisseur au sommet, où elle n'a pas moins de vingt-huit à trente couches très-irrégulièrement disposées les unes sur les autres, et disposées en files verticales dans la partie la plus profonde seulement.

Si nous rapprochons ces observations de celles que nous avons déjà faites sur les Dipsacées, nous ne pouvons négliger de remarquer que dans ces deux cas, il y a une très-grande multiplication cellulaire de toutes les parties, jointe à un développement irrégulier des tissus. En outre, l'épiderme, chez toutes ces plantes, n'acquiert de caractères anatomiques particuliers que très-tard, bien qu'il soit facile de le discerner assez près du sommet par son fonctionnement. Est-il permis de croire que la confusion des tissus au sommet soit due à un manque de différenciation? Nous ne l'avons observée jusqu'ici que chez des plantes dont l'embryon est très-développé. Quand l'embryon est très-réduit, la différenciation est très-nette au sommet.

Ces raisons me convainquent de plus en plus que ce prétendu manque de différenciation doit être considéré comme une confusion provenant surtout de l'intensité des divisions cellulaires, et aussi d'un manque de caractères spéciaux chez les tissus, qui en réalité fonctionnent dès l'origine indépendamment les uns des autres.

L'étude du *Ruellia strepens* L. confirme cette opinion. La radicule de cette plante est en effet beaucoup plus réduite que celle des *Acanthus;* tous les tissus sont différenciés au sommet. Le cylindre central a des initiales très-distinctes. Il est possible d'y considérer le péricambium comme continu au sommet; mais je ne vois pas les raisons qui doivent me porter à considérer comme spéciales au péricambium les cellules du sommet qui ont avec les autres cellules du cylindre les mêmes rapports qu'avec le péricambium. Les divisions du cylindre ont lieu presque toutes en direction centrifuge, et d'une façon plus régulière que nous ne l'avons vu jusqu'ici.

L'écorce se forme en direction exclusivement centripète aux dépens de deux ou trois initiales un peu plus grandes que les cellules environnantes. L'épiderme forme la coiffe par ses divisions tangentielles ; les couches de coiffe séparées de l'épiderme ne se divisent plus ; elles sont par conséquent très-régulières : il y en a onze. Dans la partie la plus profonde, les cellules sont disposées en séries verticales.

Nous avons donc affaire, dans la même famille, à de petits embryons chez lesquels les méristèmes primaires sont très-distincts, et à des embryons très-grands chez lesquels on trouve une grande confusion de ces méristèmes au sommet. Je ne puis considérer cette confusion comme un caractère fondamental ; je suis tout disposé à admettre que, dans l'*Acanthus* comme dans le *Ruellia*, les tissus primaires fonctionnent réellement indépendamment les uns des autres, que l'accroissement irrégulier de ces tissus et leur développement considérable obscurcissent les limites qui les séparaient.

Bignoniacées. — La radicule du *Martynia lutea* Lindl. et celle du *Sesamum orientale* L. sont très-développées.

Dans ces deux plantes, le cylindre central est large et se forme en direction centrifuge ; le péricambium n'est pas continu au sommet, mais est différencié de très-bonne heure aux dépens d'un groupe variable d'initiales.

L'écorce du *Martynia* a deux couches d'initiales, dont l'extérieure reste indivise et forme l'assise sous-épidermique ; la couche intérieure forme en direction centripète tout le reste de l'écorce dont les cellules sont séparées par de nombreux méats.

Le *Sesamum* n'a qu'une couche de trois à cinq initiales. Toute l'écorce se divise en direction centripète. L'épiderme est formé de cellules très-différenciées par rapport à celles qui les entourent; elles sont très-allongées dans le sens radial, et les assises de la coiffe, produites par leur division tangentielle, s'appuient par leurs bords contre l'épiderme d'une façon très-régulière. Les cellules de la coiffe du *Sesamum* et du *Martynia* sont disposées en séries verticales, non-seulement dans la partie axiale, profonde, mais même dans les parties latérales de la coiffe ; les cellules de chaque couche de coiffe, au lieu d'alterner avec celles de la couche qu'elle recouvre ou qui lui est superposée, se correspondent exactement ; comme les cellules des couches extérieures sont plus larges que les cellules internes, la coiffe est formée de séries qui rayonnent autour du sommet, et qui sont disposées en outre en couches concentriques.

Le *Tecoma jasminoides* Seem. a une radicule plus étroite et plus allongée que les deux plantes précédentes. Le péricambium n'y est pas continu au sommet du cylindre central. On ne peut déterminer la direction suivant laquelle le cylindre central effectue son développement.

L'écorce a deux assises d'initiales qui se développent comme celles du *Martynia*. L'épiderme forme la coiffe au moyen de sept ou huit divisions qui séparent autant de couches concentriques très-régulières. Nulle part, dans les Dicotylédones, je n'ai vu plus nettement la disposition des cellules de la coiffe en séries rayonnantes.

Dans le *Catalpa syringifolia* DC., la différenciation des

cellules est moins grande, la disposition un peu moins régulière. La radicule de cette plante présente d'ailleurs les mêmes caractères généraux que le *Tecoma;* ils sont un peu plus difficiles à saisir.

SÉLAGINOIDÉES.

Jasminées. — La radicule des Jasminées est ordinairement assez développée. Dans celle du *Jasminum fruticans* L., le cylindre central est parfaitement séparé de l'écorce ; le péricambium est peut-être continu au sommet. Le rôle des initiales les plus centrales ne peut être déterminé absolument, mais plus que dans toutes les Gamopétales observées jusqu'ici, elles semblent être spéciales au péricambium ; le reste du cylindre central se développe principalement en direction centrifuge.

L'écorce présente deux couches d'initiales. L'externe ne reste pas simple comme d'ordinaire ; elle se dédouble une fois à une distance assez grande du sommet. La couche interne d'initiales se compose de trois ou quatre cellules au sommet ; elle forme successivement en direction centripète la plus grande partie de l'écorce.

La coiffe, formée tout entière par l'épiderme, se compose de huit couches de cellules tabulaires aplaties ; elles ne sont pas disposées en séries verticales.

Globulariées. — Le cylindre central du *Globularia vulgaris*, L. est parfaitement indépendant de l'écorce, bien que le péricambium n'atteigne pas son sommet ; on y trouve au moins quatre initiales communes au péricambium et au reste du cylindre (fig. 19).

L'écorce a trois, quelquefois quatre initiales, disposées en une seule couche ; le *développement de l'écorce* aux dépens de ces initiales n'est pas centripète comme d'habitude ; il *est presque exclusivement centrifuge* (fig. 19).

La coiffe est formée par l'épiderme ; le cône radiculaire est fort allongé ; l'assise la plus externe ne se sépare de l'épiderme qu'à une grande distance du sommet. Il se produit dans les couches de la coiffe quelques dédoublements postérieurs à leur

séparation d'avec l'épiderme; dans la partie profonde, les cellules sont disposées en files verticales.

VERBÉNINÉES.

Labiées. — La radicule de toutes les Labiées que j'ai observées a la même structure que celle des Composées. Les études de M. Eriksson sur les racines adventives ou autres de plusieurs plantes de cette famille, n'aboutissent pas aux mêmes résultats. Suivant cet auteur, le *Coleus hybridus*, le *Mentha aquatica*, le *M. rotundifolia*, le *Salvia patens*, auraient la structure de l'*Helianthus* avec une ou deux assises d'initiales de l'écorce; mais le *Lamium album* et le *Ballota ruderalis* ont un sommet végétatif comparable à celui des Cucurbitacées et des Papilionacées.

La radicule conique du *Salvia officinalis* L. et celle du *S. Sclarea* L. présentent en effet les mêmes caractères que la racine du *S. patens*.

A l'intérieur du péricambium, qui peut être considéré comme continu, on trouve cinq ou six initiales du cylindre central qui se divisent assez irrégulièrement, mais pourtant avec une tendance centrifuge.

L'écorce a deux couches d'initiales : l'extérieure reste simple; la couche intérieure, réduite à deux cellules au sommet, forme toute l'écorce en direction centripète. Dans le *Salv. grandiflora* Ell. il n'y a qu'une seule couche d'initiales de l'écorce.

L'épiderme forme la coiffe au moyen de sept segmentations successives; les assises de la coiffe, séparées de l'épiderme, restent ensuite absolument simples; l'épiderme est différencié de très-bonne heure par rapport aux assises voisines.

Le *Dracocephalum austriacum* L., l'*Eremostachys iberica* Hort. Par., ont, comme le *Salvia grandiflora*, une seule assise d'initiales de l'écorce.

Le *Stachys sibirica* Lamk en a deux, comme le *S. officinalis*. Dans toutes ces plantes, le nombre des initiales du cylindre

central varie énormément. La coiffe se développe tout entière en direction, centripète. La coiffe est ordinairement formée d'assises simples; dans l'*Eremostachys*, plusieurs d'entre elles se dédoublent.

Le *Phlomis cashmeriana* Royle n'a ordinairement que deux initiales de l'écorce. La comparaison de coupes nombreuses m'a montré un fait intéressant : une de ces coupes présentait en effet deux initiales de l'écorce, situées de chaque côté de la ligne médiane; l'une d'entre elles était simple, l'autre était dédoublée par une cloison tangentielle. Les deux cellules ainsi formées n'étaient pas plus volumineuses que l'initiale simple située de l'autre côté de la ligne médiane. Que ce fait soit absolument accidentel (ce qui me paraît probable, puisque je ne l'ai rencontré qu'une seule fois au milieu de nombreuses coupes), il n'en est pas moins intéressant au point de vue de la structure générale du sommet de la racine. J'ai montré déjà, au sujet de quelques familles de Monocotylédones, que la segmentation des initiales peut être plus ou moins active suivant le degré de développement de l'organe. Le cas exceptionnel du *Phlomis* montre assez que la segmentation tangentielle des initiales pour former hâtivement une assise sous-épidermique indépendante des initiales ne peut être considérée comme un fait fondamental.

Les Labiées présentent, on le voit, la même structure que les Borraginées ; comme elles, les Labiées sont les exemples les plus nets de ce mode de structure, grâce à la différenciation anatomique des cellules qui constituent les différents tissus, et particulièrement l'épiderme.

Plantaginées. — Le *Plantago amplexicaulis* Cav. a un embryon beaucoup plus allongé que celui des Labiées ; sa radicule ressemble au premier coup d'œil à celle du *Globularia;* mais elle en diffère par le développement presque exclusivement centripète de son écorce.

La coiffe est tout entière formée par l'épiderme et se compose de huit couches concentriques très-régulières; les cellules sont disposées en séries verticales dans la région axiale.

PRIMULINÉES.

Primulacées. — L'embryon des Primulacées n'est comparable par ses faibles dimensions qu'à celui des Scrofulariées, où il est le moins développé. Cependant on peut en obtenir des coupes satisfaisantes. Au point de vue anatomique, c'est aussi de l'embryon des Scrofulariées qu'il se rapproche le plus.

Dans l'*Anagallis arvensis* L. et l'*A. arvensis* var. *cærulea* Lamk, le péricambium s'arrête très-près du sommet du cylindre central, fort étroit, et ne le recouvre pas. L'écorce se réduit au sommet à une assise de trois cellules et se développe tout entière en direction centripète. La coiffe se compose seulement de quatre couches très-régulières et simples, formées par les dédoublements successifs de l'épiderme.

Le *Lysimachia dubia* H. Kew. diffère de l'*Anagallis* par son péricambium, qui paraît entourer complétement le cylindre central, malgré le faible développement de ce tissu. L'écorce a quatre initiales en une seule couche.

Le *Primula veris* L. a une coiffe un peu plus développée que celle des plantes précédentes. Les autres caractères sont les mêmes.

D'après les observations que je viens de résumer, il faut rapporter la radicule des Primulacées au mode de structure des Composées. M. Kamienski (1) rapporte aussi la racine du *Primula sinensis* au type de l'*Helianthus*. Quant à M. Eriksson (2), il trouve au sommet des racines d'*Hottonia palustris* et du *Primula veris* un méristème commun à tous les tissus; il les place, par conséquent, dans son troisième type. Ne sont-ce pas là de nouvelles raisons pour accepter l'opinion que j'ai déjà défendue, d'après laquelle la confusion du méristème au sommet

(1) Kamienski, *Zur vergl. Anatomie der Primeln.* Strasbourg, 1875.
(2) Eriksson, *loc. cit.*, p. 422.

de la racine résulte, au moins fréquemment, d'une confusion des tissus, consécutive du grand accroissement cellulaire.

L'étude des *Myrsinées* fournit de nouveaux faits en faveur de cette opinion. Les relations entre les Myrsinées et les Primulacées sont telles qu'elles sont souvent encore réunies dans une même famille; mais l'embryon des Myrsinées est en général beaucoup plus volumineux que celui des Primulacées; la radicule est beaucoup plus épaisse. Son étude nous a fourni des résultats intéressants. Il n'est pas possible de distinguer au sommet de la radicule de l'*Ardisia crispa* Thunb., ni de l'*A. crenulata* Vent., les tissus primaires que nous avons trouvés jusqu'ici avec plus ou moins de netteté dans toutes les plantes observées. Ces plantes présentent la structure décrite par M. Eriksson pour les représentants de son troisième type. Le cylindre central, l'écorce et la coiffe se confondent au sommet en un méristème commun. Les différents groupes ne se distinguent qu'à quelque distance de ce méristème absolument homogène; l'écorce, une fois différenciée, se développe en direction centripète; dès que l'épiderme est distinct, il se montre en relation avec le développement de la coiffe par ses segmentations tangentielles. En un mot, les *Ardisia* diffèrent de la plupart des plantes que nous avons observées jusqu'ici, par la confusion des tissus primaires au sommet; dès que les tissus sont distincts, ils présentent les caractères généraux qu'ils possèdent dans toutes les Dicotylédones que nous avons examinées.

ÉRICOIDÉES.

Éricacées. — L'embryon des Éricacées est fort petit; il est surtout fort étroit. Le cylindre central de l'*Erica cinerea* L. est nettement délimité au sommet relativement à l'écorce. Le péricambium peut être considéré comme continu (fig. 20). A l'intérieur du péricambium il n'y a qu'une seule initiale, qui se divise une seule fois pour former deux files de cellules procambiales. Le cylindre central se montre donc constitué seulement

par quatre files en coupe longitudinale, le péricambium de chaque côté et deux files centrales.

L'écorce n'est composée que de deux couches ; elles résultent d'un seul dédoublement des initiales qui recouvrent le sommet du cylindre central au nombre de cinq ou six.

L'épiderme forme la coiffe ; mais elle est encore réduite à trois cellules dans la graine mûre ; ces trois cellules résultent d'un premier dédoublement de l'épiderme (fig. 20).

Dans le *Rhododendron ferrugineum* L., l'écorce est formée de trois couches, par suite de deux divisions centripètes des initiales. La coiffe est aussi un peu plus développée ; elle se compose d'une couche externe de huit cellules et d'une couche interne formée par le dédoublement de la partie profonde de l'épiderme. Cette couche interne n'est qu'ébauchée ; elle se compose de deux, trois ou même quatre cellules.

Par son faible développement et la netteté de ses caractères, l'embryon de ces Éricacées mérite de fixer un instant l'attention.

Il présente en effet les caractères essentiels que possèdent, à un état beaucoup plus jeune, les embryons de plusieurs Dicotylédones observées par M. Hanstein. Dans aucune autre famille je n'ai trouvé d'embryons aussi peu développés. Le degré de développement anatomique qu'atteignent les embryons au moment de leur maturité est généralement en rapport avec leur développement en volume. Il varie par conséquent beaucoup avec les différentes plantes.

Dans toutes les Dicotylédones que nous avons observées jusqu'ici, quel que soit leur degré de développement, quelle que soit la simplicité de leur organisation, dès que les tissus primaires se distinguent les uns des autres, la coiffe se montre formée par l'épiderme.

Les caractères tirés de la différenciation des tissus primaires varient avec l'âge, avec le volume, dans une même plante ; nous ne pouvons par conséquent y attacher beaucoup d'importance.

DIOSPYROIDÉES.

Oléinées. — M. Eriksson attribue aux radicelles du *Fraxinus excelsior* la structure de l'*Helianthus* dans toute sa simplicité (1). Je n'ai pas trouvé dans la radicule des caractères aussi nets ; cela ne doit pas nous étonner du reste, car la racine embryonnaire est beaucoup plus épaisse que la racine développée. La base de la radicule n'a pas moins de 2 millimètres de diamètre.

Le cylindre central est fort épais ; on y reconnaît déjà une partie périphérique procambiale et une moelle centrale ; son développement est irrégulier. Le péricambium en est la première couche différenciée ; il n'entoure pas complétement le cylindre central ; le nombre des initiales communes au péricambium et au reste du cylindre central est plus considérable que dans toutes les plantes observées jusqu'à présent.

L'écorce est moins puissante que le cylindre central ; elle se compose, au sommet, de trois couches d'initiales, formées de cellules plus petites que les initiales du cylindre central et disposées assez irrégulièrement. La couche externe d'initiales forme l'assise sous-épidermique et demeure simple. La couche moyenne se divise de deux à quatre fois plus ou moins loin du sommet, pour former autant de couches d'écorce. La plus grande partie de l'écorce est formée par le développement exclusivement centripète de l'assise interne d'initiales.

La coiffe est formée très-régulièrement par l'épiderme, distinct jusqu'au sommet. Elle se compose de six couches régulièrement superposées, dont les cellules ne sont pas disposées en séries verticales, même dans la région axiale.

La radicule du *Ligustrum vulgare* L. diffère peu de celle du *Fraxinus ;* le développement de l'écorce est un peu moins net. La coiffe n'est pas plus épaisse que celle du *Fraxinus*, mais les couches qui la constituent ne sont pas aussi régulières.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 404.

GUTTIFÈRES.

Les quelques plantes de l'ordre des Guttifères que j'ai étudiées présentent le mode de structure des Composées. Ce sont, parmi les Hypéricinées l'*Hypericum Gebleri* Ledeb., parmi les Cistinées le *Cistus incanus* L., et l'*Helianthemum lasiocarpum* Desf. Dans l'*Hypericum*, le cylindre central est distinct de l'écorce, même au sommet; mais je n'ai pu acquérir sur la partie axiale des données suffisantes pour en préciser les caractères. L'écorce de l'*Hypericum* présente deux files d'initiales, dont l'extérieure est indivise et forme l'assise sous-épidermique; la plus profonde forme le reste de l'écorce en direction centripète. La coiffe est formée par l'épiderme et se compose seulement de deux couches à peine plus développées que celles qu'on trouve chez le *Rhododendron*.

Dans l'embryon de l'*Helianthemum* et du *Cistus*, l'écorce se développe en direction centripète aux dépens d'une seule couche d'initiales formée de 4-6 cellules plus grandes que celles qui en proviennent. La coiffe est formée tout entière par l'épiderme ; elle est constituée par un grand nombre de couches. La disposition en files verticales est plus accentuée que d'ordinaire.

MALVOIDÉES.

La famille des *Malvacées* et les familles voisines ont fait l'objet d'observations nombreuses et intéressantes. M. Eriksson considère un certain nombre de ces plantes comme appartenant à son deuxième type; quelques Malvacées, et en particulier un *Hibiscus*, dont plusieurs espèces appartiennent au deuxième type, présentent au contraire trois tissus distincts au sommet. Le nombre des couches d'initiales de l'écorce est variable (1).

Ces données suffisent pour nous convaincre que les caractères des Malvacées varient notablement. Les groupes dont les caractères sont variables offrent plus d'intérêt que les autres

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 414.

au point de vue qui nous occupe. L'embryon de la plupart des Malvacées est remarquable par ses grandes dimensions ; la radicule a à peu près la même structure que celle des Solanées, mais la confusion des tissus est généralement plus grande que dans cette famille.

Dans l'*Abutilon tiliæfolium* Swartz., par exemple, la radicule ressemble énormément à celle du *Mandragora* (fig. 18 et p. 91); la coiffe de l'*Abutilon* est un peu plus conique.

Les initiales de l'écorce sont aussi disposées en deux couches dans la radicule du *Pavonia hastata* Cav. Les racines du *P. Weldeni* et du *P. spinifex*, observées par M. Eriksson, présentaient trois couches d'initiales de l'écorce. Dans l'*Abutilon* comme dans le *Pavonia*, le péricambium n'entoure pas tout le cylindre central ; au premier coup d'œil, il paraît quelquefois continu, mais on reconnaît, avec plus d'attention, que les cellules qui paraissent tout d'abord appartenir au péricambium se dédoublent encore à quelque distance du sommet.

La radicule du *Lavatera trimestris* L. et celle du *Sida carpinifolia* L. possèdent incontestablement le même mode de structure; ces plantes présentent trois couches d'initiales de l'écorce. Les racines de plantes appartenant à ces deux genres sont rangées par M. Eriksson dans son deuxième type.

La structure de l'*Hibiscus syriacus* L. est un peu moins nette : sa radicule est plus développée que celle des plantes précédentes; le cylindre central, distinct jusqu'au sommet, bien que le péricambium ne soit pas continu, est recouvert de quatre couches d'initiales de l'écorce. L'assise externe n'est pas très-distincte des assises de la coiffe, au moins au sommet, où quatre ou cinq cellules laissent quelque doute; mais à mesure qu'on s'éloigne de la ligne médiane, elle devient très-nette.

Le *Gossypium herbaceum* L. a une radicule encore plus épaisse ; le cylindre central est distinct jusqu'au sommet ; l'écorce a 6-7 assises d'initiales qui se développent d'une façon générale en direction centripète, les externes ne prenant aucune part à ce développement ; les assises de la coiffe ne se distinguent pas de l'écorce dans la partie axiale; la coiffe est fort développée.

On voit que la distinction entre les différents tissus n'est pas très-grande dans l'embryon des *Malvacées ;* cela tient sans doute aux grandes dimensions de l'embryon, car on peut observer aussi que plus l'embryon est grand, plus la confusion est considérable.

Tiliacées. — La radicule du *Tilia corallina* H. Kew. ne présente pas la structure du *Pisum*, comme le croyait M. Holle (1), mais celle du deuxième type de M. Eriksson. Le cylindre central est distinct jusqu'au sommet ; le péricambium en est la première couche différenciée ; il reste dès lors tout à fait simple. En dehors du cylindre central, on ne trouve qu'un méristème commun à l'écorce, à la coiffe et à l'épiderme ; c'est seulement à quelque distance du sommet qu'on peut reconnaître ces tissus les uns des autres. Les assises de l'écorce se développent en direction exclusivement centripète aux dépens de ce méristème commun. Dès qu'on distingue l'épiderme, on voit qu'il présente avec la coiffe les rapports ordinaires ; il se divise six fois pour former les assises de la coiffe, mais les couches internes de la coiffe se divisent ensuite indépendamment.

CROTONINÉES.

Euphorbiacées. — L'embryon des Euphorbiacées est souvent fort développé, comme celui des Malvoïdées. On n'a réuni jusqu'ici que très-peu d'observations sur les Euphorbiacées. M. Eriksson cite deux plantes de cette famille comme formant tous les tissus primaires de leur racine aux dépens d'un méristème commun à tous.

La radicule du *Ricinus communis* L. présente en effet ces caractères. Plus que dans toutes les plantes observées jusqu'ici, les cellules dont l'ensemble forme les tissus de la radicule sont petites et leurs cloisons irrégulières. Le cylindre central est formé de plus de vingt files cellulaires étroites ; son sommet se confond avec celui de l'écorce. Le péricambium est différencié

(1) Holle, *loc. cit.* (*Bot. Zeit.*, 1876).

en même temps que l'ensemble du cylindre central, qui se développe fort irrégulièrement aux dépens du groupe d'initiales.

L'écorce se développe principalement en direction centripète, mais on y trouve aussi des divisions indépendantes de cette direction générale d'accroissement.

La coiffe, confondue au sommet avec les tissus précédents, n'est pas très-épaisse, mais la petitesse et l'irrégularité de ses cellules ne permettent pas de reconnaître une limite entre elle et l'écorce. La différenciation se produit peu à peu dans les parties latérales ; dès qu'on peut distinguer la coiffe de l'écorce, on reconnaît que la coiffe est formée par les divisions de l'épiderme. Je ne puis admettre qu'il faille considérer le méristème commun de cette plante comme différent des tissus primaires de la plupart des plantes décrites jusqu'à présent.

Nous n'avons trouvé jusqu'ici de méristème commun que dans des plantes dont l'embryon est fort développé ; la spécialisation est d'autant moins grande dans les tissus primaires, que l'accroissement numérique des cellules est plus considérable, que le développement de tous les tissus est moins régulier. Si, comme nous l'avons constaté plusieurs fois, le cylindre central, l'écorce et la coiffe peuvent chacun isolément se développer avec peu de régularité, doit-on s'étonner que ce manque de régularité puisse atteindre les initiales elles-mêmes? N'est-il pas très-naturel, au contraire, qu'il en soit ainsi? Je ne vois donc, dans le cas présenté par le Ricin, aucune raison pour admettre un type de structure différent de celui que j'ai décrit chez la plupart des Dicotylédones.

Peut-être qu'à une époque antérieure du développement, l'embryon du Ricin se rapproche beaucoup plus de la structure des Composées. Quoi que puisse nous apprendre l'embryogénie sur ce point, il n'est pas douteux pour moi que le Ricin possède le même mode de structure fondamental que les autres Dicotylédones, et qu'il faille considérer la confusion des tissus primaires comme le résultat de l'accroissement considérable et irrégulier de ces tissus.

Les radicules du *Crozophora tinctoria* Neck., du *Stillingia*

sebifera Mich., de l'*Euphorbia Lathyris* L., diffèrent peu de celle du Ricin. Il semble quelquefois, dans ces plantes, que le cylindre central paraisse complétement distinct, mais un examen plus attentif ne permet pas d'établir exactement la limite entre l'écorce et le cylindre central.

La radicule de l'*Elæococca verniciflua* Guss. est beaucoup plus épaisse que celle de toutes les plantes précédentes; elle ne diffère de la radicule des autres Euphorbiacées que parce que la confusion y est encore plus grande entre le cylindre central et l'écorce; on ne pressent même pas dans l'*Elæococca*, la limite qu'on pouvait presque déterminer dans les exemples précédents. L'écorce est fort épaisse. Au sommet elle n'a pas moins de dix couches d'initiales; son développement est irrégulièrement centripète.

L'embryon de cette plante fournit cependant une observation intéressante. Comme la plupart des Cucurbitacées et quelques autres plantes, l'*Elæococca* possède déjà, lors de la maturité de la graine, un certain nombre de racines adventives qui n'attendent que la germination pour paraître au dehors.

Ces racines adventives, beaucoup moins développées que la radicule, n'ont pas les mêmes caractères. Le cylindre central y est distinct jusqu'au sommet; le péricambium y est différencié de très-bonne heure; les cellules terminales sont seules communes au péricambium et au reste du cylindre central. L'écorce n'est encore divisée, dans sa partie interne, qu'en direction rigoureusement centripète; à peine y voit-on dans les couches externes quelques divisions irrégulières; au sommet, elle est formée de quatre ou cinq couches d'initiales; ses couches externes se confondent avec la coiffe, qui est elle-même peu épaisse.

Ce fait, que dans une même plante la radicule épaisse et des racines adventives étroites possèdent une structure tellement différente qu'on doive, d'après les idées admises jusqu'ici, les ranger dans deux types différents, ne confirme-t-il pas de nouveau ce que j'ai répété plusieurs fois au sujet de la confusion des tissus? Que les racines adventives de l'*Elæococca* se déve-

loppent puissamment avec l'irrégularité ordinaire aux plantes de cette famille, elles présenteront forcément le mode de structure de la radicule.

POLYGALINÉES.

Polygalées. — La radicule du *Polygala speciosa* Sims. sans être très-volumineuse, est très-développée anatomiquement, c'est-à-dire que les cellules qui la constituent sont nombreuses et petites comme dans les Euphorbiacées.

Le cylindre central, relativement épais, est distinct des autres tissus; le péricambium ne le recouvre pas complétement. L'écorce se divise jusque fort loin du sommet en direction centripète, aux dépens de trois couches d'initiales; la couche externe ne se distingue pas très-sûrement de la coiffe au sommet même, mais elle prend des caractères particuliers à une faible distance et reste dès lors indivise, formant ainsi l'assise sous-épidermique; l'assise moyenne demeure aussi sans divisions : l'assise interne forme donc la plus grande partie de l'écorce. La coiffe est formée tout entière par l'épiderme; ses couches chevauchent un peu les unes sur les autres. L'épiderme est distinct jusque tout près du sommet; il y perd brusquement la netteté de ses caractères; il ne s'y distingue qu'avec peine de la couche corticale extérieure.

GÉRANIOIDÉES.

Les différentes familles de cet ordre, intimement unies par des caractères nombreux, par des affinités évidentes, diffèrent cependant beaucoup par la structure de leur radicule.

M. Reinke a décrit la radicule de l'*Impatiens Balsamina* comme appartenant au type de l'*Helianthus* (1). M. de Janczewski, le premier, fit connaître, au sujet de la racine du *Linum usitatissimum*, que la structure du type de l'*Helianthus* peut se modifier, qu'il y a notamment au sommet de cette plante deux

(1) Reinke, *Unters. über Wachsthumg. und. Morphol. der Würzeln.* Bonn. 1871.

couches d'initiales de l'écorce (1). M. Eriksson a cru devoir l'appeler (2) « modification du *Linum* ».

Limnanthées. — Le *Limnanthes Douglasii* R. Br. (fig. 21) a la même structure générale que les Composées. Le cylindre central est étroit; il se réduit, au sommet, à quatre initiales dont les deux latérales sont l'origine du péricambium. Il est absolument impossible d'admettre que le péricambium y soit continu; les deux initiales médianes donnent naissance au reste du cylindre central, qui se divise en direction sensiblement centrifuge.

L'écorce a tantôt une, tantôt deux initiales. Dans la coupe que j'ai dessinée, il y en a une à peu près médiane (fig. 21), mais les deux cellules qui la limitent du côté droit semblent bien être une initiale comme la première, qui serait nouvellement dédoublée. J'ai eu déjà l'occasion de citer des cas analogues et de montrer que c'est là un passage entre la structure de l'*Helianthus* et celle des plantes qui ont normalement deux couches d'initiales L'écorce. se développe en direction centripète.

La coiffe est formée par l'épiderme; les trois assises extérieures restent indivises après leur séparation; les assises intérieures se divisent un peu irrégulièrement, surtout vers la partie profonde.

Balsaminées. — La radicule de l'*Impatiens Balsamina* L., extrêmement courte, est pourtant assez épaisse; elle présente le même mode de structure que l'*Helianthus* (fig. 22). Le cylindre central, terminé par un cône assez court, présente au sommet deux initiales, beaucoup plus grandes qu'elles ne le sont d'ordinaire. Le péricambium n'est pas le résultat de la première différenciation de ces cellules. Les files cellulaires se dédoublent rapidement; les divisions qui s'y produisent sont fort irrégulières. L'écorce se développe aux dépens de quatre initiales, en direction centripète; mais les couches de l'écorce n'acquièrent une grande régularité qu'à quelque distance du

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 24.
(2) Eriksson, *loc. cit.*, p. 404.

sommet ; elles se distinguent d'ailleurs du cylindre central aussi bien que de l'épiderme par la présence de nombreux méats.

L'épiderme forme la coiffe ; quatre couches très-régulières la constituent; les cellules épidermiques les plus profondes, appuyées contre les initiales de l'écorce, ont déjà subi un dédoublement, qui est l'origine d'une cinquième couche.

Géraniées. — Le cylindre central de la radicule est relativement large dans le *Geranium molle*, L. le *G. macrorhizum* L. et le *Pelargonium graveolens* DC. ; il se termine au sommet par trois cellules plus larges que celles qui en proviennent, mais allongées comme elles dans le sens de l'axe ; le péricambium s'appuie latéralement contre ce groupe d'initiales.

L'écorce se développe en direction centripète, mais avec moins de régularité que d'habitude. Elle se réduit à trois ou quatre initiales à peine plus grandes que les cellules voisines.

La coiffe est formée régulièrement en direction centripète ; les initiales de l'épiderme ne sont distinctes de celles de l'écorce que par leur situation ; il n'y a entre elles aucune différence anatomique. Le suspenseur est très-large, formé de grandes cellules ; il embrasse même le sommet de la racine.

Tropéolées. — L'embryon du *Tropæolum majus* L. et du *T. Lobbianum* Hook. est beaucoup plus volumineux que celui des plantes précédentes ; la radicule est cachée entre les cotylédons accolés entre eux avant la germination.

Le cylindre central présente, à fort peu de chose près, les mêmes caractères que celui de l'*Impatiens Balsamina* (comparez les figures 22 et 23).

L'écorce est formée d'un petit nombre d'assises irrégulières de cellules séparées par des méats jusque tout près du sommet ; il n'est pas possible de distinguer les initiales de l'écorce de celles de l'épiderme.

Dans la région axiale, les cellules sont disposées en séries verticales en même temps qu'en couches. Les initiales de l'écorce et de l'épiderme se confondent en un méristème commun ; le groupe d'initiales communes a pourtant peu d'importance. L'épiderme se différencie de bonne heure dans les par-

ties latérales, et forme la coiffe par ses divisions tangentielles. Plusieurs des couches de la coiffe se dédoublent, d'ailleurs, après s'être séparées de l'épiderme.

Les couches de la coiffe, même les plus extérieures, sont plus aplaties qu'elles ne le sont dans la racine développée. Cela ne doit pas nous étonner, car la coiffe ne se développe pas librement; l'épiderme de la radicule, au lieu de se continuer directement avec l'épiderme de la tigelle, est recouvert par lui. Il y a tout autour de la radicule une véritable gaîne radiculaire, qui ne diffère de celle du Maïs que parce que, dans le *Tropæolum*, elle ne forme pas la coiffe. L'épiderme de la tigelle, cuticularisé dans toute son étendue sur sa face externe, est formé de petites cellules régulières jusqu'à la pointe de l'organe (fig. 23).

Les assises corticales sous-jacentes sont formées de grandes cellules polyédriques séparées par de nombreux méats. En se rapprochant de la pointe de la radicule, ces assises se dédoublent un petit nombre de fois et perdent leur régularité; les plus internes d'entre elles seules se confondent un peu avec les couches les plus extérieures de la coiffe.

Lors de la germination, dès que les cotylédons se sont écartés pour laisser passer l'axe de l'embryon, une double fente en croix déchire la gaîne radiculaire en quatre valves, à travers lesquelles la radicule s'allonge aussitôt; la gaîne est ainsi séparée tout entière sans laisser de débris sur la coiffe qui commence aussitôt à s'exfolier; comme elle n'est plus gênée dans son développement, ses cellules extérieures s'élargissent et prennent les caractères qu'elles ont d'ordinaire dans les Dicotylédones. A part son origine profonde, la radicule du *Tropæolum* présente les mêmes caractères que celles de la plupart des plantes de cet embranchement. La présence d'une gaîne radiculaire est un fait rare chez les Dicotylédones; la limite entre la tigelle et la radicule est aussi nette pourtant que dans la plupart de ces plantes. L'épiderme de la radicule est aussi différencié que chez beaucoup de Dicotylédones. Au lieu de se continuer avec l'épiderme de la tigelle, il se continue avec une des assises du parenchyme cortical. La tigelle se trouve au-dessus

du point de jonction de l'épiderme de la radicule avec une assise corticale ; tout ce qui est au-dessous de ce point appartient à la radicule.

Nous sommes naturellement amenés à examiner ce qu'il faut penser de l'endogénéité de la racine dans l'embryon. On admet généralement que toutes les racines sont des formations endogènes. L'origine profonde est depuis longtemps mise hors de doute pour les racines adventives et les radicelles; on ne peut pas nier non plus que la radicule soit endogène dans le cas où elle est recouverte d'une gaîne radiculaire ; mais je crois qu'on a trop généralisé, et qu'on a étendu à tort à toutes les racines les caractères qu'on avait reconnus chez beaucoup d'entre elles.

Dans les Graminées, les Commélynées, les Palmiers, etc., la radicule est entourée d'une gaîne qui démontre l'origine profonde de cet organe; mais dans la plupart des Monocotylédones et dans presque toutes les Dicotylédones que nous avons observées, les rapports de l'épiderme de la racine avec celui de la tigelle, sont les suivants : l'épiderme de la racine s'appuie contre la partie interne de la base des cellules épidermiques de la tigelle; elle n'est recouverte en ce point que par l'assise la plus extérieure de la coiffe. Quelques auteurs, guidés par des idées théoriques, ont voulu reconnaître à toutes les racines une origine profonde. Ils ont conclu de ce que la radicule naît dans le jeune embryon au-dessous du point d'attache du suspenseur, qu'elle rentre par là dans la règle générale. C'est en effet au-dessous du point d'insertion du suspenseur que naît la radicule, mais nous avons vu (1) que c'est du suspenseur que proviennent les initiales de l'écorce, celles de l'épiderme et de la coiffe. Le suspenseur est réellement en rapport avec la partie terminale de la radicule, mais à l'époque où quelques-unes des cellules du suspenseur se différencient pour contribuer au développement de la racine, celle-ci s'étend déjà latéralement et se développe à découvert. La radicule ne peut

(1) Voyez les caractères de la radicule des Composées, page 79.

donc être dans ce cas considérée comme endogène que par rapport à une partie d'elle-même, par rapport à une partie de la coiffe et de l'écorce qui la constituent. Or cette façon d'interpréter la chose me paraît erronée.

L'épiderme de la radicule se continue directement avec l'épiderme de la tigelle, et n'est recouvert que par la coiffe qui en est une partie constitutive. La radicule n'est donc pas toujours endogène : elle l'est avec évidence dans quelques familles des Monocotylédones; elle l'est encore dans la radicule de la Capucine, puisque l'épiderme de la radicule est recouvert chez ces plantes par un certain nombre d'assises corticales et par l'épiderme de la tigelle; mais ce sont là des faits isolés. Il faut bien se rendre à l'évidence, et admettre que l'endogénéité n'est pas un caractère commun à toutes les racines, quelle que soit leur origine.

Linées. — Je n'ai rien à ajouter à ce que M. de Janczewski a dit au sujet du pivot du *Linum usitatissimum* L. Le *L. grandiflorum* Desf. présente aussi les mêmes caractères. Ces plantes possèdent le mode de structure de l'*Helianthus*, avec deux couches d'initiales de l'écorce (1).

Oxalidées. — L'embryon de l'*Oxalis stricta* L. est petit; la structure de sa radicule est la même que celle de la radicule des Scrofulariées. L'écorce, développée tout entière en direction centripète, a une seule assise de trois initiales ; l'épiderme forme la coiffe au moyen de trois divisions tangentielles successives.

Un coup d'œil rétrospectif, jeté sur les résultats acquis pour les Géranioïdées, nous montre une fois de plus que des plantes très-voisines peuvent présenter une structure différente, et que les différences de structure sont surtout en rapport avec les différences de développement de l'embryon.

TÉRÉBINTHINÉES.

Aucune plante de cet ordre ne paraît avoir été observée

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 24.

jusqu'à présent au point de vue de la structure du sommet de la racine.

Les caractères des diverses plantes que j'ai étudiées varient notablement avec les différences de développement de l'embryon en volume, comme je l'ai fait observer déjà plusieurs fois.

Simarubées. — La radicule de l'*Ailantus glutinosa* Desf. n'a pas d'initiales propres à ses différents tissus; le cylindre central, l'écorce, l'épiderme avec la coiffe, sont confondus en un méristème commun; ce méristème est formé de cellules aplaties disposées en séries verticales. Dès qu'on reconnaît les limites du cylindre central on constate que le péricambium est différencié. L'écorce et l'épiderme se forment latéralement aux dépens des initiales communes et acquièrent peu à peu leurs caractères propres. Dès que l'épiderme est distinct, on voit que la coiffe est formée à la manière ordinaire, mais ses cellules ne sont pas disposées en couches, ce qui contribue sans doute beaucoup à confondre les initiales au sommet de la racine.

La radicule du *Ptelea trifoliata* L. (*Zanthoxylées*) diffère très-peu de celle de l'*Ailantus*.

Rutacées. — Le *Dictamnus Fraxinella* Pers., a une radicule moins épaisse que celle des plantes précédentes; le péricambium paraît recouvrir complétement le cylindre central distinct jusqu'au sommet. On peut remarquer que cette apparence se manifeste surtout dans les plantes où le cylindre central est épais; on ne doit pas s'en étonner, car lorsque le cylindre est large, les initiales ne sont pas allongées dans le sens de l'axe comme lorsqu'il est étroit; les cellules étant larges et polyédriques, leurs divisions sont moins régulières. Je crois d'ailleurs que les nombreuses manières d'être que j'ai signalées au sujet du sommet du cylindre central montrent suffisamment que sa structure est très-variable et qu'il faut y attacher peu d'importance.

L'écorce se réduit à deux couches d'initiales, mais les cellules de ces deux couches ne se distinguent ni des cellules qui en proviennent, ni de celles de la coiffe, et il faut une certaine

attention pour suivre l'épiderme au-dessus des initiales de l'écorce.

La coiffe est très-développée ; elle est formée tout entière par l'épiderme, qui ne se différencie que bien loin du sommet ; dans la région axiale les cellules sont disposées en files verticales. Il faudrait fort peu de chose pour détruire la limite qui existe entre l'écorce et la coiffe ; s'il y avait un peu d'irrégularité dans ces cellules, il serait impossible de les considérer comme initiales propres.

La radicule du *Ruta graveolens* L. est beaucoup plus étroite ; ses caractères sont beaucoup plus nets. Le cylindre central, fort étroit, se réduit à trois cellules, dont une médiane forme tout le tissu du cylindre central, sauf le péricambium ; il est formé directement par les initiales latérales, qui restent indivises.

L'écorce a deux couches d'initiales qui se divisent à la manière ordinaire en direction centripète. L'épiderme forme la petite coiffe régulière qui recouvre cette radicule.

HESPÉRIDÉES.

Aurantiacées. — Je ne puis accepter, au sujet du *Citrus Aurantium* Riss., l'opinion de M. Holle, qui range la radicule de cette plante dans le type de l'*Helianthus*. Avec M. Eriksson (1), je trouve à cette plante les trois tissus primaires confondus au sommet en un méristème commun. Cette radicule présente les plus grands rapports avec celle de l'*Ailantus*, plutôt encore avec celle du *Kœlreuteria paniculata* (fig. 24).

ÆSCULINÉES.

Sapindacées. — La radicule du *Kœlreuteria paniculata* Lamk n'a pas ses tissus primaires spécialisés au sommet ; elle pourrait servir à caractériser le quatrième type de M. de Janczewski, le troisième type de M. Eriksson.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 419.

Cette confusion des initiales est en rapport avec les grandes dimensions de la radicule; toutes les cellules se divisent irrégulièrement au voisinage du sommet; elles sont très-petites, et les différences anatomiques manquent entre les tissus. L'épiderme ne se distingue des assises de l'écorce que parce qu'il forme les couches de la coiffe; on ne doit pas s'étonner que la confusion devienne complète au sommet, où la différenciation anatomique entre les tissus fait complétement défaut.

Le cylindre central est formé de files nombreuses dont le développement est principalement centrifuge. Le péricambium n'est différencié qu'à une distance assez grande du sommet; il est absolument impossible de distinguer ses initiales de celles de l'écorce.

L'écorce a un développement général centripète, mais elle présente pourtant quelques divisions dans ses couches externes. Vers le sommet, ses assises se confondent peu à peu avec le groupe d'initiales communes qui sont finalement disposées en files verticales, surtout dans la région axiale. L'épiderme est confondu au sommet avec les autres tissus, et perdu avec eux dans le groupe d'initiales; dès qu'on peut le reconnaître, il montre avec la coiffe les rapports qu'il présente habituellement. La coiffe est formée par ses segmentations tangentielles successives, et les couches qui la constituent sont irrégulières et fréquemment dédoublées.

Térébinthacées. — Le *Schinus Molle* L. et le *Duvaua dependens* DC. ont une radicule étroite. Celle du *Pistacia vera* L. est beaucoup plus épaisse; les cellules y sont très-petites, et comme il arrive d'ordinaire dans ce cas, les rapports sont difficiles à saisir. Les caractères généraux du *Pistacia* sont les mêmes que ceux du *Kœlreuteria* (fig. 24); mais l'épiderme de la radicule, au lieu de se continuer avec l'épiderme de la tigelle, se continue avec l'assise sous-épidermique : l'épiderme de la tigelle forme donc au-dessus de la coiffe une gaîne radiculaire rudimentaire.

Dans le *Schinus* et le *Duvaua*, le cylindre central a des initiales indépendantes. L'écorce a deux couches d'initiales

petites, irrégulières : l'externe reste indivise; l'assise interne forme tout le reste de l'écorce en division centripète. La coiffe de ces deux plantes est très-régulière, formée par l'épiderme.

Hippocastanées. — La radicule de l'*Æsculus Hippocastanum* L. et celle du *Pavia intermedia* Lamk présentent la même structure que celle du *Kœlreuteria* (fig. 24).

Acérinées. — M. Eriksson reproduit (1) le sommet de la radicule de l'*Acer Pseudo-Platanus* L. D'après ce dessin et la description que l'auteur en donne, l'*Acer* appartient à son troisième type; bien que je ne songe pas à lui attribuer la structure de l'*Helianthus*, comme M. Holle croit devoir le faire, je trouve le cylindre central toujours spécialisé jusqu'au sommet (fig. 25) ; les initiales me paraissent toujours très-nettement séparées de celles de l'écorce. L'écorce présente six couches d'initiales qui ne se distinguent pas de celles de la coiffe ; l'épiderme forme la coiffe tout entière par ses segmentations tangentielles.

CÉLASTROIDÉES.

La radicule du *Staphylea pinnata* L. (*Staphyléacées*) est très-courte, mais épaisse. Les trois tissus primaires y sont confondus jusqu'à une distance assez grande du sommet.

La radicule de l'*Evonymus latifolius* Scop. (*Célastrinées*) est beaucoup plus développée que celle du *Staphylea*, mais les différences ne portent que sur les dimensions des cellules.

VIOLINÉES.

Violariées. — On ne trouve aucune différence entre la radicule du *Viola floribunda* Jord. et celle du *Viola odorata* L. Elle présente le mode de structure des Labiées à deux couches d'initiales de l'écorce. Il y a fort peu de différenciation anatomique entre les cellules; c'est à la régularité de leur disposition seulement qu'est due la netteté des caractères de la radicule chez ces plantes.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, pl. XXV, fig. 22.

CRUCIFÉRINÉES.

Crucifères. — Plusieurs plantes de la famille des Crucifères ont été étudiées déjà avec beaucoup de soin par M. Hanstein (1), par M. Reinke (2), par M. de Janczewski (3) et par M. Eriksson (4).

L'opinion de ces auteurs est à peu près la même au sujet de la structure anatomique de la racine des Crucifères. Nulle part, en effet, les caractères de la racine ne sont plus nets que dans les plantes de cette famille ; elles présentent toujours la structure des Composées, avec une régularité encore plus grande.

J'ai observé la radicule chez le *Raphanus sativus* L., le *Crambe maritima* L., l'*Eruca sativa* Lamk. et l'*Anastatica Hierochuntia* L. M. Eriksson a décrit avec un soin minutieux la radicule du *Raphanus sativus* (5) ; mon opinion ne diffère de la sienne qu'en ce qui regarde le péricambium. Dans aucune des Crucifères que j'ai observées, le péricambium n'est continu au sommet ; il ressemble beaucoup à celui des Composées, et notamment à celui du *Silybum Marianum* (fig. 14).

Capparidées, Résédacées. — La radicule du *Capparis spinosa*, L. diffère peu de celle du *Reseda odorata* L. Toutes deux ressemblent beaucoup à celle des Crucifères. L'écorce se réduit dans le *Capparis* à une assise de quatre initiales ; il n'y a que deux ou trois initiales dans le *Reseda*.

RENONCULINÉES.

Renonculacées. — La famille des Renonculacées présente des caractères bien différents de ceux de la plupart des Dicotylédones étudiées jusqu'à présent. M. Eriksson rapporte les racines de trois Renonculacées à son troisième type ; mais elles diffèrent

(1) Hanstein, *Entwickl. des Keimes*, p. 5 et suiv., pl. 1-3.
(2) Reinke, *Wachsthumgeschichte der Phanerog. Wurzel.*
(3) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 31.
(4) Eriksson, *loc. cit.*, p. 393.
(5) Id., *ibid.*, p. 394 et pl. XVIII, fig. 1.

de toutes les autres racines de ce type, par le développement centrifuge de l'écorce (1). J'ai confirmé les observations de cet auteur sur la racine du *Ficaria ranunculoides* Mœnch.

L'embryon des Renonculacées est en général fort petit ; le plus volumineux de ceux que j'ai étudiés est celui du *Pæonia officinalis* Bert. Le cylindre central de la radicule paraît développé fort irrégulièrement dans cette plante.

L'écorce est épaisse ; elle se réduit à un groupe d'initiales communes absolument irrégulières (fig. 27) ; elle est finalement formée de 11–12 couches, mais leur développement est très-irrégulier. Il est difficile de suivre les couches depuis leur point de départ jusque dans la tigelle, parce qu'elles paraissent fréquemment se dédoubler ou se réunir ; cependant le développement général de l'écorce est *centripète* dans l'embryon.

La coiffe est formée en grande partie, quelquefois tout entière, par l'assise sous-épidermique ; l'assise épidermique y prend pourtant d'ordinaire une faible part en se divisant une ou deux fois. Les couches de la coiffe ne sont pas plus régulières que celles de l'écorce ; elles se confondent avec les initiales de l'écorce ; il se produit souvent dans les cellules de tous les tissus des cloisons tangentielles tout à fait locales.

En somme, les tissus primaires sont plus confus dans le *Pæonia* que dans toutes les Dicotylédones étudiées précédemment. Les initiales se divisent fort irrégulièrement ; la différenciation anatomique est presque nulle entre les tissus ; il en résulte qu'il n'y aucune spécialisation au sommet de la racine.

La radicule de l'*Aconitum pyrenaicum*, Lamk est très-petite; le manque de différenciation anatomique entre les cellules des différents tissus n'est pas moins grand que dans le *Pæonia*. Le péricambium n'est pas toujours différencié tout près du sommet du cylindre central (fig. 26). L'écorce est étroite, elle se différencie aux dépens du groupe d'initiales communes ; il est à peine possible d'y reconnaître une tendance au développement centripète. La coiffe est formée par les divisions successives de

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 421, et pl. XXVI, fig. 23.

l'épiderme qui se confond avec le groupe d'initiales à une assez grande distance de la ligne médiane (fig. 26).

Le *Delphinium Staphisagria* L. ne diffère pas de l'*Aconitum* au point de vue qui nous occupe.

Les autres Helléborées que j'ai étudiées en diffèrent un peu ; dans l'*Helleborus fœtidus* L., la limite entre la coiffe et l'écorce est indiquée au sommet, sans être nette cependant. Les initiales de l'écorce, disposées en trois couches, paraissent se développer en direction centripète ; il ne m'a pas été possible de distinguer d'une façon certaine les initiales de l'écorce de celles du cylindre central.

La radicule du *Nigella sativa* L., quoique moins développée que celle du *Pæonia*, lui ressemble beaucoup. Dans celle du *Garidella Nigellastrum* L., la différenciation anatomique entre les cellules est un peu plus grande que dans les plantes précédentes. Le cylindre central se confond à peine avec les initiales de l'écorce. L'écorce est encore mieux différenciée par rapport à la coiffe ; ses initiales sont grandes, polyédriques, disposées en deux ou trois couches irrégulièrement superposées ; la plus extérieure de ces couches forme deux ou trois assises corticales par un développement centrifuge ; les deux couches internes d'initiales produisent le reste de l'écorce qui se développe en direction presque régulièrement centripète. S'il arrive que dans la racine l'écorce se montre développée surtout en direction centrifuge, ce qui paraît probable, d'après les observations de M. Eriksson et les miennes, cela est dû sans aucun doute au développement des couches externes d'initiales : ce développement commence à se produire dans l'embryon du *Garidella*.

Dans la tribu des Anémonées, l'*Adonis autumnalis* L. et l'*Anemone narcissiflora* L. présentent, à fort peu de chose près, les caractères du *Garidella*.

La radicule du *Clematis Pitcheri* Torr. et Gr. (Clématidées) est un peu plus développée que celle de l'*Aconitum*. Mais les caractères généraux sont les mêmes dans ces deux plantes ; toutes les parties sont seulement un peu plus volumineuses.

Enfin, parmi les Renonculées, les *Ranunculus acris* L. et *R. repens* L., ainsi que le *Ficaria ranunculoides* Mœnch. ont un embryon très-petit. On ne constate aucune différenciation anatomique entre les cellules des divers tissus ; aussi la confusion est-elle assez grande entre eux au sommet de la radicule. Les initiales paraissent être communes au cylindre central et à l'écorce ; mais le groupe d'initiales communes est très-petit ; il y a 2-3 couches spéciales à l'écorce. La coiffe est peu développée et formée par l'épiderme.

Un coup d'œil comparatif jeté sur les Renonculacées que nous venons d'étudier, montre que dans toutes ces plantes c'est au manque presque complet de différenciation anatomique entre les cellules, bien plutôt qu'au développement considérable des tissus, qu'est due la confusion remarquable présentée par la racine.

PAPAVÉRINÉES.

Papavéracées, Fumariacées. — Ces deux familles présentent des affinités incontestables. Leur embryon est ordinairement très-petit ; cependant celui de quelques Fumariacées atteint des dimensions plus considérables : nous y trouverons des termes de comparaison intéressants.

Dans les Papavéracées que j'ai étudiées (*Papaver somniferum*, L., *P. Argemone* L., *Macleya cordata* R. Br.), l'embryon est très-peu développé ; la radicule offre le mode de structure des Campanulacées, des Primulacées et de la plupart des Dicotylédones à embryon très-réduit. On trouve dans ces plantes trois initiales de l'écorce, disposées en une seule couche ; j'ai observé une fois, pourtant, deux couches d'initiales sur une coupe de *Papaver Argemone* qui paraissait axiale.

La coiffe est formée de trois couches dans le *Macleya*, de cinq ou six couches dans le *Papaver*.

La radicule de l'*Hypecoum procumbens* L. (Fumariacées) est beaucoup plus puissante que celle des Papavéracées ; sa structure est aussi très-différente, malgré la parenté de ces

plantes; elle ressemble beaucoup plus au *Pæonia officinalis* (fig. 27). Je ne signalerai que quelques particularités qui la distinguent. L'accroissement de l'écorce n'a pas lieu, comme d'habitude, en direction centripète; il n'est pas non plus rigoureusement centrifuge; mais il est plus centrifuge que centripète. La disposition de la coiffe n'est pas non plus la même que d'ordinaire : dans la partie terminale axiale, elle n'est nullement disposée en couches concentriques ; dans les parties latérales, les couches sont régulièrement superposées. Les cloisons radiales qui divisent ces couches concentriques en cellules se correspondent dans les différentes assises superposées, de sorte que l'ensemble des cloisons radiales coupe en rayonnant toute la série des couches concentriques; tout près de la base de la racine cependant, les cloisons radiales d'une couche alternent avec celles d'une couche superposée.

BERBÉRINÉES.

Berbéridées. — La radicule du *Mahonia Aquifolium* Nutt. et celle du *Berberis vulgaris* L. ont beaucoup de rapports avec celle de l'*Aconitum pyrenaicum* (fig. 26). L'écorce est plus épaisse, plus régulière; elle se développe en direction centripète.

MAGNOLINÉES.

Magnoliacées. — La radicule du *Magnolia macrophylla* Michx présente les plus grands rapports avec celle du *Ranunculus repens*, décrite et figurée par M. Eriksson (1). Les initiales de la racine se confondent au sommet en un groupe volumineux fort irrégulier de cellules petites, arrondies ou irrégulièrement polygonales.

Le développement de l'écorce est principalement centrifuge, et les assises internes de l'écorce ne se distinguent qu'assez difficilement de celles du cylindre central; la coiffe, formée par

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 421 et pl. XXVI, fig. 23.

l'épiderme, est très-puissante. M. Eriksson attribue la même structure au *Drimys Winteri* (1).

Il est bon de jeter un coup d'œil général sur l'ensemble des familles que nous avons étudiées en dernier lieu. Nous avons reconnu que la radicule d'un certain nombre d'entre elles n'a pas de tissus primaires spécialisés, malgré ses petites dimensions ; remarquons pourtant que les tissus sont spécialisés dans le petit embryon des Papavéracées, qu'ils ne le sont pas dans l'embryon de l'*Hypecoum*, d'ailleurs beaucoup plus volumineux. J'ai fait observer déjà que la différenciation anatomique est très-faible chez ces plantes, que le développement est moins régulier que dans la plupart des Dicotylédones ; le mode de formation de l'écorce différent, au moins en partie, de ce qu'il est d'ordinaire, augmente beaucoup la confusion en effaçant plus ou moins la limite qui sépare le cylindre central de l'écorce.

NYMPHÉINÉES.

Nymphéacées. — La radicule du *Nymphæa alba* L. ne paraît pas différer de celle du *Victoria regia* Lindl. ; elle est très-courte ; je n'ai pu y découvrir une limite entre les initiales du cylindre central et celles de l'écorce. Les cellules qui constituent les tissus de cet organe sont à peine disposées en couches ; on voit pourtant que la coiffe est formée par trois divisions successives de l'épiderme.

D'après M. Eriksson (2) la racine du *Nuphar luteum* appartient à son troisième type.

URTICINÉES.

Les différentes familles de l'ordre des Urticinées sont reliées par un grand nombre de caractères communs, qui en font l'un des groupes les plus naturels parmi les Dicotylédones. L'embryon de ces plantes est volumineux ; le développement de la radicule est en rapport avec celui de tout l'embryon.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 422.
(2) Id., *ibid.*, p. 422.

Morées. — M. Eriksson rapporte à son troisième type les racines adventives de plusieurs espèces de *Ficus* (1) ; j'ai confirmé sur les racines du *Ficus Carica* L. et du *Ficus elastica* les observations de cet auteur.

La radicule du *Morus alba* L. présente les mêmes caractères généraux, bien qu'elle ne soit pas très-développée ; la confusion des tissus n'a lieu du reste que très-près du sommet ; le groupe d'initiales communes est très-restreint.

Celtidées. — La radicule du *Celtis australis* L. est beaucoup plus épaisse que celle du *Morus ;* le groupes d'initiales communes y est plus important, mais les caractères généraux sont les mêmes.

Cannabinées. — La radicule de l'*Humulus Lupulus* L. ressemble beaucoup par ses caractères anatomiques à celle du *Celtis*, bien qu'elle soit plus petite.

Dans la radicule du *Cannabis sativa* L., plus épaisse que celle du Houblon, la différenciation est plus grande entre les cellules ; il en résulte que les rapports sont plus nets. Le cylindre central se développe irrégulièrement ; il faut quelque attention pour reconnaître ses initiales de celles de l'écorce, qui sont disposées en deux couches de petites cellules. Le développement de l'écorce est centripète.

Urticées. — Dans l'*Urtica pilulifera* L., le cylindre central se termine par un groupe d'initiales allongées, dont les plus extérieures forment le péricambium. Elles se distinguent facilement des initiales de l'écorce, disposées en deux couches régulièrement superposées ; l'extérieure ne forme que l'assise sous-épidermique : l'assise interne est formée de 5-6 cellules placées côte à côte et se divise en direction centripète. La coiffe est formée par l'épiderme, et se compose seulement de quatre couches concentriques régulières.

L'*Urtica* et le *Cannabis* présentent donc nettement les caractères généraux de l'*Helianthus* ou plutôt du *Linum* ; les autres Urticinées étudiées ont leur sommet végétatif beaucoup moins différencié.

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 418.

POLYGONOIDÉES.

Polygonées. — La racine du *Fagopyrum esculentum* a été étudiée par M. de Janczewski (1), celle du *Polygonum amphibium* par M. Eriksson (2). Elles appartiennent au « type de l'*Helianthus* ».

Les observations que j'ai faites sur le *Fagopyrum esculentum* Mœnch et sur le *Rumex Patientia* L. confirment absolument les résultats obtenus par ces auteurs. Je n'ai rien à ajouter à la description que donne M. de Janczewski de la radicule du *Fagopyrum esculentum*.

CARYOPHYLLINÉES.

Silénées, Alsinées. — Le *Saponaria officinalis* L., le *Lychnis Githago* Lamk, le *Vaccaria oxyodonta* Boiss., le *Stellaria Holostea* L., présentent la structure des Composées avec la plus grande netteté.

Amarantacées, Chénopodiées, Basellées. — L'*Amarantus caudatus*, L., le *Celosia cristata*, L., l'*Atriplex hortensis* L., le *Spinacia inermis* Mœnch et le *Basella rubra* ne diffèrent de l'*Helianthus* par aucun caractère important. Dans aucune de ces plantes, le péricambium ne paraît continu ; la coiffe est un peu moins régulière dans le *Basella* que dans les autres plantes citées.

Paronychiées, Phytolaccées. — Le *Scleranthus annuus* L. et l'*Ortegia hispanica* L. présentent aussi les plus grandes ressemblances avec les plantes précédentes.

On pourrait croire que cette identité de caractères dans un certain nombre de plantes appartenant incontestablement à un même groupe naturel est une raison suffisante pour nous faire accepter ce mode de structure comme commun à toutes les plantes du même groupe ; il n'en est pourtant pas ainsi.

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 23, et pl. 15, fig. 7.
(2) Eriksson, *loc. cit.*, p. 404.

La différenciation anatomique est en effet beaucoup moins grande dans l'embryon du *Phytolacca Kæmpferi* que dans celui de toutes plantes précédentes. Le cylindre central est distinct jusqu'au sommet. L'écorce paraît avoir 2-3 couches d'initiales, mais elles se confondent vers l'extérieur avec les couches de la coiffe.

La famille des *Nyctaginées*, dont les relations avec les Caryophyllinées sont assez obscures, présente aussi quelques particularités intéressantes au point de vue qui nous occupe.

Toutes les plantes de cette famille que j'ai étudiées présentent, au point de vue qui nous occupe, la structure des Composées. L'épiderme forme la coiffe; mais, tandis que chez plusieurs de ces plantes l'épiderme de la radicule s'appuie contre celui de la tigelle (*Bugainvillea spectabilis* Willd., *Oxybaphus viscosus* Lamk), il est ailleurs recouvert par plusieurs assises de parenchyme cortical et par l'épiderme de la tigelle. Dans le *Mirabilis Jalapa* L., par exemple, l'épiderme de la racine, après avoir formé par ses divisions tangentielles toutes les assises de la coiffe, est séparé de l'extérieur par une et quelquefois par deux assises de parenchyme et par l'épiderme de la tigelle (fig. 28). Cet épiderme recouvre entièrement la coiffe, qui est entourée, par conséquent, d'une gaîne radiculaire analogue à celle de la Capucine, mais moins développée. Dans le *Mirabilis Jalapa*, les cellules se confondent au-dessus du sommet végétatif avec celles de la coiffe.

Au moment de la germination, la gaîne du *Mirabilis* se comporte autrement que celle de la Capucine : au lieu de se rompre nettement à la base de la racine, elle se déchire irrégulièrement sous l'effort de la radicule qui s'allonge, et forme une couronne de petites lanières frangées dans lesquelles on reconnaît facilement les débris des assises cellulaires extérieures à la coiffe. La partie terminale de la gaîne demeure tout d'abord autour du sommet de la coiffe ; ses assises sont rejetées les premières dès que la coiffe commence à s'exfolier. La radicule du *M. Jalapa* est donc réellement endogène, comme celle du *Tropæolum*.

Le *Mirabilis Wrightiana* Dcne et le *M. longiflora* L. ont

aussi une gaîne radiculaire, mais elle n'est formée que par l'épiderme de la tigelle, qui recouvre toute la coiffe. L'épiderme de la radicule s'appuie contre les cellules de l'assise sous-épidermique de la tigelle.

CACTOIDÉES.

Mésembrianthémées, Cactées. — La radicule du *Mesembrianthemum cordifolium* L. a la même structure que celle des Composées et des Crucifères ; elle est longue et étroite. L'épiderme est plus net que d'ordinaire ; il l'est jusqu'au sommet même, parce que ses cellules sont fort allongées dans le sens radial.

L'embryon de l'*Opuntia echinocarpa* Engl. est beaucoup plus volumineux que le précédent. L'écorce présente deux ou trois couches d'initiales, dont les cellules se différencient et prennent des dimensions considérables avant qu'aucune d'elles se soit dédoublée dans les parties latérales. Elles ne se divisent que loin du sommet en direction centripète, comme c'est le cas le plus fréquent. Les trois tissus primaires se distinguent assez bien les uns des autres.

CRASSULINÉES. — SAXIFRAGINÉES.

La radicule de l'*Umbilicus horizontalis* DC. (*Crassulacées*) possède les mêmes caractères que celle des Composées, mais réduits à leurs traits essentiels, comme nous l'avons vu pour l'*Erica cinerea* (fig. 20).

Philadelphées. — Le *Philadelphus floribundus* Schrad. et le *P. tomentosus* ont un embryon fort petit ; on peut en obtenir pourtant de bonnes coupes : leur radicule a la structure de celles des Composées.

Le péricambium ne recouvre pas le sommet du cylindre. L'écorce a trois initiales, qui se divisent en direction centripète.

Je n'ai pu, malgré tous mes efforts, obtenir de bonnes préparations de l'embryon des *Saxifragées*, qui est généralement très-petit. L'étude de cet embryon aurait été d'autant plus inté-

ressante, que M. Eriksson cite (1) la racine de l'*Escallonia macrantha* comme ayant des initiales communes à l'écorce, à l'épiderme et à la coiffe.

PASSIFLORINÉES.

Loasées. — La radicule du *Bartonia aurea* Lindl. ne diffère de celle du *Mentzelia ornata* A. Gr. que par son développement un peu plus considérable. Toutes deux présentent la structure des Composées dans toute sa simplicité.

Passiflorées. — Dans le *Passiflora cœrulea* L., les cellules sont petites et irrégulières; la distinction entre les tissus est, par suite, moins facile à saisir. On reconnaît pourtant facilement les limites du cylindre central, même au sommet, à cause de la forme allongée de ses cellules; il est évident que le péricambium ne l'entoure pas complétement.

Il y a confusion entre les cellules de l'écorce et celles de la coiffe, mais le groupe d'initiales communes est peu nombreux; les tissus se différencient latéralement à peu de distance du sommet, en sorte qu'on peut évaluer à deux ou trois le nombre des couches d'initiales de l'écorce; elles sont formées de petites cellules fort irrégulièrement disposées. La coiffe est formée par l'épiderme; elle se compose de 12-14 couches qui chevauchent un peu les unes sur les autres. En somme, la radicule du *Passiflora cœrulea* ressemble beaucoup à celle du *Mandragora vernalis* (fig. 18).

UMBELLINÉES.

L'embryon des Umbellinées, comme celui des Renonculacées, est en général remarquable par le peu de différenciation anatomique de ses tissus, de sorte que les rapports des différentes parties sont assez obscurs, quoique les dimensions de la radicule soient généralement faibles.

Araliacées. — La radicule de l'*Hedera Helix* L. (fig. 29) pourrait être considérée comme typique pour les plantes de cet

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 414.

ordre. Le cylindre central n'est distinct des autres tissus que par la disposition régulière des cellules qui le constituent ; on peut même y considérer le péricambium comme continu ; les assises du cylindre central se divisent surtout en direction centrifuge.

L'écorce se distingue à peine du cylindre central par la forme de ses cellules, mais son développement est centripète. Vers le sommet, elle se confond avec les cellules profondes de la coiffe (fig. 29).

La disposition des cellules de la coiffe est du reste fort irrégulière ; dès que l'épiderme est différencié, on reconnaît que la coiffe est formée par ses divisions tangentielles ; mais au sommet la confusion est aussi grande que dans l'*Aconitum* (fig. 26).

M. Eriksson a étudié la racine de l'*Aralia Sieboldii* et l'a figurée (1). La radicule ressemble beaucoup à la racine ; elle présente les mêmes caractères généraux que celle de l'*Hedera*, mais elle est plus développée.

Ombellifères. — La figure 30 représente les initiales de la radicule chez le *Ferula communis* DC. L'embryon de cette plante est relativement grand, mais la différenciation anatomique y est aussi faible que dans les embryons les plus petits : la situation des cellules est le seul caractère qui permette de distinguer les tissus les uns des autres ; la moindre irrégularité dans le cloisonnement des initiales fait disparaître les limites entre les tissus primaires.

Les files du cylindre central sont disposées avec régularité ; au premier coup d'œil, le péricambium semble continu, mais un examen plus attentif montre qu'il faut conserver quelque doute au sujet de l'indépendance de cette assise, car les cellules les plus rapprochées du sommet paraissent se diviser pour former les files internes du cylindre central, sans qu'on puisse toutefois affirmer positivement que cette division ait lieu (fig. 30).

L'écorce et la coiffe se confondent au sommet, mais il est

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 414, et pl XXIII, fig. 18.

certain que la plus grande partie de l'écorce se développe en direction centripète aux dépens d'une couche interne d'initiales appuyées contre les initiales du cylindre central.

La coiffe est formée par les divisions tangentielles de l'épiderme.

La radicule du *Myrrhis odorata* Scop. et celle du *Smyrnium Olusatrum* L. ne diffèrent pas de celle du *Ferula*. La radicule du *Carum Carvi* L., beaucoup plus étroite que les précédentes en diffère à peine.

D'après M. Eriksson, le *Selinum decipiens* et le *Levisticum officinale* appartiennent à son deuxième type. La racine du *Sium angustifolium* aurait deux assises d'initiales de l'écorce, distinctes de celles de la coiffe. La moitié de l'écorce à peu près, est due au développement centrifuge de la file externe d'initiales (1). Je n'ai pas constaté de développement centrifuge dans l'embryon.

Cornées. — La comparaison de l'*Aucuba japonica* Thunb. et du *Cornus mas* L. présente quelque intérêt au point de vue de la structure de la radicule.

La radicule de l'*Aucuba* présente le mode de structure des Composées ; elle a absolument l'aspect de celle de l'*Impatiens* (fig. 22); mais le cylindre central a quatre initiales dans l'*Aucuba ;* l'écorce en a trois, qui se divisent exclusivement dans le sens centripète, et dont les cellules sont séparées par de nombreux méats ; l'épiderme se dédouble six fois pour former la coiffe.

La radicule du *Cornus mas* L. est beaucoup plus volumineuse ; la différenciation anatomique est aussi faible que dans l'*Aucuba*, mais les tissus étant plus développés en volume, on ne peut y distinguer des initiales spéciales. Cependant il est douteux que les initiales soient communes au cylindre central et à l'écorce.

Imaginons que, dans la racine de l'*Aucuba*, les cellules se divisent avec une grande intensité ; ce fait, joint au manque de

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 409.

différenciation anatomique, fera disparaître les limites entre les différents tissus : c'est, je crois, ce qui se produit dans le *Cornus*. Le péricambium ne se différenciant que très-tard dans l'*Aucuba*, il n'est pas étonnant que dans le *Cornus* on ne distingue plus le cylindre de l'écorce, pour peu que le péricambium se spécialise aussi tardivement que dans l'*Aucuba*.

Résumons en peu de mots les faits que je viens d'exposer au sujet des Umbellinées. Dans toutes ces plantes, il y a peu de différenciation anatomique entre les tissus ; quand l'accroissement cellulaire est faible, les tissus sont distincts jusqu'au sommet ; plus les cellules se divisent, plus la confusion des initiales est grande. On ne peut donc pas placer l'*Aucuba* dans un premier type, le *Ferula* et les autres Ombellifères dans un deuxième, et le *Cornus* dans un troisième.

SANTALINÉES.

Santalacées. — L'embryon du *Thesium humifusum* DC. présente la même structure que celui de l'*Osyris alba* L.; leur radicule est fort étroite.

Le cylindre central est distinct jusqu'au sommet, bien que le péricambium ne l'entoure pas complétement ; deux ou trois cellules allongées dans le sens axial occupent la partie terminale du cylindre et ne permettent pas de douter de la discontinuité du péricambium : ces cellules ne donnent naissance qu'aux files centrales du cylindre.

L'écorce a des caractères tout particuliers au sommet. On y trouve à peu près autant de couches d'initiales que de couches d'écorce, c'est-à-dire que presque toutes les couches de l'écorce se continuent au-dessus du sommet végétatif sans se réunir ; la couche la plus interne, appuyée contre les initiales du cylindre central, se divise seule une ou deux fois en direction centripète à quelque distance du sommet. L'assise sous-épidermique au contraire, au lieu de se diviser en s'éloignant du sommet, comme cela arrive quelquefois, se dédouble vers le sommet et contribue ainsi à former la coiffe.

L'épiderme se divise successivement quatre ou cinq fois pour former la plus grande partie de la coiffe. Nous avons vu que, dans le *Pæonia*, l'épiderme contribue à former la coiffe ; dans le *Thesium* et l'*Osyris*, il en forme la plus grande partie, mais une couche de l'écorce se dédouble aussi pour en augmenter l'épaisseur.

Loranthacées. — L'embryon du *Viscum album* L. est complétement dépourvu de radicule, bien que la tigelle et les deux cotylédons qui le constituent soient très-développés.

La tigelle est traversée dans toute sa longueur par deux faisceaux vasculaires très-différenciés, dans lesquels on distingue déjà une partie libérienne et une partie ligneuse avec des trachées ; ces faisceaux sont réunis par un parenchyme irrégulier formé de larges cellules remplies de chlorophylle et d'amidon ; le tout est recouvert par un épiderme (fig. 31) dont la face extérieure est remarquablement cuticularisée. Vers le bas, les deux faisceaux se rapprochent, puis se réunissent en un seul faisceau axile qui se termine presque aussitôt par quelques cellules un peu allongées présentant les caractères des cellules procambiales ; au niveau où s'opère ce brusque changement, les parois de la tigelle, un peu renflée à la base, se rapprochent tout à coup pour se terminer en un cône très-surbaissé, occupé tout entier par des cellules parenchymateuses irrégulières, gorgées de chlorophylle et d'amidon ; le cône est recouvert sans aucune interruption par l'épiderme puissamment cuticularisé de la tigelle. Ce cône surbaissé ne peut dans cet état représenter un début de racine, puisqu'il est dépourvu de système vasculaire et de toute trace de coiffe (fig. 31).

J'ai pu constater que, lorsque la tigelle a commencé à s'allonger par suite de la germination, son sommet n'a subi aucune modification anatomique. Nous ne pouvons donc rien déduire de l'étude de cet embryon, au point de vue qui nous occupe, sinon que le parasitisme lui imprime un caractère d'infériorité qu'on retrouve dans d'autres parties de cette plante.

ASARINÉES.

Aristolochiées. — L'*Aristolochia fimbriata* Cham., l'*A. Clematitis* L., l'*Asarum europæum* L., malgré des différences notables au point de vue des dimensions, diffèrent peu au point de vue de la structure de la radicule.

Leur radicule ressemble beaucoup à celle du *Kœlreuteria* (fig. 24). Dans ces plantes, la confusion des tissus est due à l'intensité de l'accroissement des cellules plutôt qu'au manque de différenciation anatomique. M. Holle croit pourtant devoir rapporter la racine de l'*Asarum* au type de l'*Helianthus;* je n'ai pu constater de limites nettes entre les différents tissus.

CUCURBITINÉES.

Bégoniacées.—C'est à défaut d'affinités précises avec d'autres groupes qu'on range les Bégoniacées dans l'ordre des Cucurbitinées; les rapprochements entre cette famille et les autres familles du même ordre sont trop faibles pour qu'on puisse les comparer d'une façon rigoureuse.

Les Bégoniacées diffèrent autant des autres familles de cet ordre par la structure de leur embryon que par la plupart de leurs autres caractères.

L'embryon du *Begonia semperflorens* Link n'est comparable par ses petites dimensions qu'à celui des Orchidées ou des Campanules. On peut le préparer par le procédé de M. Treub, sans pratiquer de coupes, qu'il serait sinon impossible, du moins fort difficile d'obtenir satisfaisantes. Il possède deux cotylédons et une tigelle; mais, au lieu de se terminer à la partie inférieure par un cône radiculaire, il y présente une dépression analogue à celle qu'on trouve à l'extrémité radiculaire de l'embryon des Cuscutes.

M. Eriksson a étudié la racine développée de plusieurs espèces de *Begonia* (1) : elles possèdent, d'après cet auteur, le

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 413.

mode de structure de l'*Helianthus* avec 4-5 couches de l'écorce, ou davantage encore.

Cucurbitacées. — Le *Cucurbita maxima* et le *C. Pepo* ont été étudiés par M. de Janczewski (1) ; le *Cucumis sativus*, le *Bryonia cretica* l'ont été par M. Eriksson (2). Toutes ces plantes ont la même structure d'après ces auteurs ; elles appartiennent au quatrième type de M. de Janczewski.

La radicule d'un certain nombre de Cucurbitacées que j'ai observées présente les mêmes caractères avant la germination. Ce sont le *Cyclanthera pedata* Schrad., le *Cucumis vulgaris*, L., le *Telfaira pedata* Hook., le *Thladiantha dubia* Bge. l'*Echinocystis fabacea* Ndn, le *Cucurbita maxima* Duch. et le *Momordica Charantia* L.

Gronoviées. — Après avoir observé toutes ces Cucurbitacées, après avoir remarqué qu'elles présentent toutes les mêmes caractères, on pouvait considérer comme probable que les Gronoviées présenteraient la même structure. Bien que les Gronoviées soient étroitement liées aux Cucurbitacées, leur radicule diffère profondément de celle de ces plantes.

La figure 32 représente la radicule du *Gronovia scandens* L.; elle diffère peu de celle du *Linum*. Le cylindre central, défini jusqu'au sommet, paraît entouré complétement par le péricambium. L'écorce a deux assises d'initiales et se développe régulièrement en direction centripète.

ŒNOTHÉRINÉES.

Haloragées. — Les racines de *Trapa natans* L., étudiées par M. Reinke, sont décrites par lui comme possédant deux couches d'initiales de l'écorce (3). Plus tard, le même auteur crut reconnaître le mode de structure de l'*Helianthus* aux *Gunnera* (4) ; mais M. Eriksson, les ayant observées depuis, les

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 28.

(2) Eriksson, *loc. cit.*, p. 419.

(3) *Untersuch. über Waschsthum und Morphol. der Wäzeln.*

(4) *Morphologie der Gunnera.*

place dans son troisième type ; il leur attribue par conséquent la structure des Cucurbitacées (1). Enfin, c'est à côté de l'*Helianthus* que M. de Janczewski place les racines adventives du *Myriophyllum spicatum* (2).

La radicule de l'*Hippuris vulgaris* L. (fig. 34) est un des exemples les plus nets de la structure de l'*Helianthus;* ses dimensions sont d'ailleurs très-faibles. L'examen de la figure 34 me dispensera d'entrer dans de plus longs détails, qui ne seraient que la répétition de ce que j'ai déjà décrit à plusieurs reprises.

Les particularités qu'offre la radicule du *Trapa natans* L. n'ont pas échappé à l'attention des différents observateurs qui se sont occupés de la question. L'extrémité radiculaire de cette plante est fort développée. M. Hanstein et M. Koch déclarent que, malgré ce grand développement, on n'y trouve qu'un début de coiffe. La figure 33 montre qu'elle diffère de toutes les racines observées jusqu'à présent.

Je n'ai jamais trouvé aucune spécialisation des initiales au sommet, bien que le cylindre central présente déjà des faisceaux vasculaires fort développés ; prévenu par la structure particulière de l'embryon du Gui, j'ai cherché à résoudre la question par l'étude du système vasculaire : les coupes transversales de la partie la plus rapprochée du sommet, au point où le système vasculaire va cesser d'exister, font disparaître à peu près tous les doutes.

Ces coupes montrent un cylindre central étroit, entouré d'une écorce épaisse. Le cylindre central présente trois petits groupes de vaisseaux annelés et spiralés ; le plus souvent on voit nettement que ces vaisseaux se développent du centre vers la périphérie : ce sont donc des faisceaux de tige ; tout au sommet pourtant, la certitude ne peut être absolue au sujet de la direction du développement. Dans tous les cas, ces faisceaux ne sont pas appuyés contre une assise qu'on puisse considérer comme

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 419.
(2) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 31.

péricambiale; on trouve entre l'endoderme, d'ailleurs mal différencié, et les vaisseaux les plus extérieurs, deux couches de cellules parenchymateuses.

Aucun caractère ne permet, par conséquent, d'attribuer à ce cylindre central la valeur d'un cylindre central de racine, même au sommet. A mesure qu'on s'éloigne, il se caractérise comme cylindre central de tige.

Les cellules de l'épiderme sont dédoublées une seule fois dans la région terminale ; c'est par ce seul caractère que le sommet végétatif du *Trapa* diffère du sommet de la tigelle du Gui.

Je crois donc devoir considérer le *Trapa* comme dépourvu d'une radicule bien organisée, comme ne possédant qu'une tigelle fort développée, au sommet de laquelle une première division de l'épiderme constitue en quelque sorte la première ébauche d'une racine.

La couche extérieure formée par le dédoublement de l'épiderme constitue tout ce qui dans l'embryon du *Trapa* représente la racine.

Œnothérées. — La radicule de l'*Œnothera biennis* L. possède la structure des Composées, avec la netteté remarquable qu'elle présente chez les Crucifères. D'après M. Eriksson (1), les racines adventives de l'*Epilobium hirsutum* auraient deux couches d'initiales de l'écorce.

Lythrariées. — La radicule du *Cuphea viscosissima* Jacq. est moins volumineuse que celle de l'*Œnothera*, mais elle est plus développée anatomiquement, et n'en diffère pas par les caractères de son sommet.

DAPHNOIDÉES. — RHAMNOIDÉES.

La radicule du *Daphne Mezereum* (*Thymélées*) présente de grands rapports avec celle de l'*Acer Pseudo-Platanus* (fig. 25). L'écorce a trois couches d'initiales.

La structure de la radicule du *Rhamnus africanus* (*Rham-*

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 408.

nées), est la même que celle du *Daphne;* il n'y a entre ces deux plantes que des différences sans importance.

PROTÉINÉES.

Eléagnées. — L'*Elæagnus hortensis* Bieb. a une radicule fort épaisse; les cellules qui la constituent sont plus grandes que dans le *Daphne* ou le *Rhamnus ;* elle diffère peu cependant de celle des plantes précédentes. Le groupe d'initiales de l'écorce se réduit à deux couches, mais il y a en outre quelques cellules qui paraissent communes à la coiffe et à l'écorce.

Je ne puis admettre avec M. Holle (1) que l'*Elæagnus* appartienne au type de l'*Helianthus*. M. Eriksson a figuré le sommet végétatif du *Banksia integrifolia* (Protéacées) (2) ; les trois tissus primaires y sont distincts, mais leur développement est très-irrégulier. D'ailleurs il cite deux autres plantes de la même famille, le *Grevillea robusta* et l'*Hakea oleifera* comme appartenant à son deuxième type.

Tous ces faits permettent de croire que tous les caractères du sommet de la racine ne sont pas nets dans la généralité des plantes de cet ordre.

MYRTOIDÉES.

Granatées. — L'embryon du *Punica Granatum* L. possède une radicule épaisse d'un demi-millimètre environ ; son sommet nous fournit quelques observations intéressantes.

La radicule du Grenadier appartient en effet au type des Composées, avec deux couches d'initiales de l'écorce, mais elle présente ce fait particulier que, toutes les cellules ayant à peu près la même forme et les mêmes dimensions, la distinction entre les tissus primaires est plus faible que cela n'a lieu d'ordinaire quand il n'y a que deux couches d'initiales de l'écorce. Il suffirait que quelques-unes de ces initiales fussent divisées par des cloisons obliques, pour rendre la confusion complète entre les

(1) Holle, *loc. cit.* (*Bot. Zeitung*, 1876).
(2) Eriksson, *loc. cit.*, pl. XXII, fig. 16.

tissus. Cette plante peut donc être considérée comme un terme de transition entre le mode de structure des Composées et le deuxième type de M. Eriksson, non pas au point de vue de l'intensité du cloisonnement cellulaire, mais sous le rapport du peu de différenciation anatomique entre les cellules.

Myrtacées. — Dans le *Myrtus communis* L. et le *Psidium piriferum* L. la radicule est très-courte, mais épaisse. Ces deux plantes, comme l'*Eucalyptus Globulus* signalé déjà par M. Eriksson, appartiennent à son deuxième type, et sont remarquables par le peu de différenciation anatomique de leurs tissus.

Différentes hypothèses ont été émises sur la nature de l'embryon du *Bertholletia excelsa* Humb. et Bonpl. Quelques auteurs considèrent cet embryon comme formé de deux cotylédons épais, soudés entre eux et surmontant une épaisse tigelle. La fig. 35 A représente d'une façon schématique la disposition du système vasculaire dans cet embryon.

Il a une forme irrégulièrement ovoïde, et se compose d'une masse de cellules parenchymateuses très-volumineuses et à parois très-minces, remplies d'aleurone et de matières grasses. En traitant longuement les coupes par la potasse, puis par l'éther, on les débarrasse du contenu des cellules qui rendait l'observation impossible.

Les coupes transversales, à quelque niveau qu'elles soient faites, montrent une masse énorme de larges cellules parenchymateuses, occupant presque toute la coupe ; ce n'est qu'à la périphérie qu'on trouve un cercle continu de cellules procambiales allongées, parmi lesquelles on observe de loin en loin une ou deux trachées. Ce cercle procambial est séparé de l'épiderme par quelques cellules parenchymateuses semblables à celles du centre ; l'épiderme est à peine différencié, comme on le voit dans la figure 35 B.

Les coupes longitudinales montrent que du côté du micropyle, le cercle procambial s'atténue, s'efface peu à peu en se rapprochant de la ligne axiale ; il n'y est plus séparé de l'extérieur par des cellules irrégulièrement polygonales : on trouve dans cette région un certain nombre d'assises très-régulières,

aplaties, qui ressemblent à des assises de coiffe (fig. 35 B). Elles-mêmes sont séparées de l'extérieur par une masse de cellules parenchymateuses.

A l'extrémité opposée au micropyle, le tissu procambial se rapproche de l'épiderme et n'est recouvert au sommet que par deux ou trois couches de cellules parenchymateuses.

On ne peut, à mon avis, considérer cet embryon que comme une tigelle dont le tissu médullaire s'est développé énormément pour servir de magasin de réserve pour les matières mutritives. On n'y trouve aucune trace de cotylédons; elle se termine par un début de radicule. Quelquefois la partie centrale est lacuneuse, par suite sans doute de conditions défavorables survenues pendant le développement de l'embryon.

Imaginons qu'à l'extrémité radiculaire du *Myrtus*, dont les rapports sont mal déterminés, toutes les parties parenchymateuses se développent d'une manière excessive; que toutes les cellules, en se formant très-irrégulièrement, prennent en même temps des dimensions énormes : toutes les parties ainsi modifiées constitueront un véritable tubercule embryonnaire, comme c'est le cas pour le *Bertholletia*.

Il est bon de faire observer, en passant, que la fig. 35 B est dessinée au même grossissement que presque toutes les figures qui accompagnent ce travail, et en particulier que la figure 37. On peut juger par là des grandes différences qui peuvent se produire dans les dimensions des cellules.

ROSINÉES.

L'ordre des Rosinées fournit quelques observations intéressantes à cause des dimensions très-variables que présentent les embryons des plantes dont il se compose.

Prenons comme point de départ les *Dryadées*, chez lesquelles l'embryon est fort peu développé. Dans le *Rubus discolor* Weih., le cylindre central est fort étroit et distinct jusqu'au sommet, bien que le péricambium ne le recouvre pas. Les initiales de l'écorce disposées en deux couches, se confondent,

extérieurement avec celles de la coiffe. Il en est de même dans le *Fragaria vesca* L. S'il fallait déterminer à quel *type* appartiennent ces deux plantes, il faudrait les rapporter au deuxième type de M. Eriksson; mais à coup sùr elles constitueraient la ilmite extrême entre le deuxième et le premier.

L'embryon des *Spiréacées* est ordinairement plus volumineux que celui des Dryadées; les cellules y sont plus grandes, le cloisonnement plus régulier; les rapports y sont plus nets par conséquent.

Dans le *Gillenia trifoliata* Mœnch (fig. 36), le cylindre central est distinct jusqu'au sommet, bien qu'il nous montre un des meilleurs exemples de la discontinuité du péricambium.

Les trois initiales du cylindre central s'appuient contre deux cellules plus grandes que celles qui les entourent et qui donnent naissance à la plus grande partie de l'écorce en direction centripète; extérieurement se trouve une seconde assise d'initiales de l'écorce nettement limitée par rapport à la coiffe. Mais elle ne constitue pas seulement l'assise sous-épidermique, comme cela arrive dans la plupart des cas analogues; elle donne naissance à trois ou quatre couches corticales qui se divisent à une distance plus ou moins grande du sommet, sans direction bien déterminée.

La coiffe formée par l'épiderme est peu régulière; ses couches chevauchent un peu les unes sur les autres.

Le *Rhodotypus kerrioides* Sieb. diffère notablement du *Gillenia;* le cylindre central y est bien net, mais le péricambium paraît continu au sommet. L'écorce se divise rigoureusement en direction centripète, aux dépens de deux couches d'initiales dont l'extérieure se confond, dans la partie tout à fait axiale et sur une très-faible largeur, avec les initiales de la coiffe. A ce point de vue, cette plante se rapproche donc beaucoup du *Rubus discolor*.

Parmi les *Rosées*, le *Rosa macrantha* Desp. présente les mêmes caractères que le *Rhodotypus*. L'épiderme de la tigelle présente déjà de nombreuses émergences très-développées,

qui font naturellement défaut sur l'épiderme de la radicule recouvert par la coiffe.

L'embryon des *Pomacées* est généralement plus développé que celui de toutes les plantes précédentes; les cellules y sont fort petites, l'intensité du cloisonnement y est très-grande : aussi les rapports entre les tissus sont-ils beaucoup moins nets que dans les familles que nous venons d'étudier.

Dans le *Malus cerasifera* Spach, on arrive avec quelque peine à distinguer les trois tissus primaires jusqu'au sommet. L'écorce s'y réduit à deux ou trois couches de cellules fort petites, à peine distinctes des assises de la coiffe.

Le *Cratægus Azarolus* L. a trois couches d'initiales de l'écorce; le *Pirus sinaica* en présente trois ou quatre couches. L'*Eriobotrya japonica* Lindl. a une radicule très-courte, mais formée de cellules d'une petitesse remarquable; tous les tissus s'y développent avec peu de régularité. La différenciation anatomique est très-faible entre les cellules des différents tissus. La coiffe est formée par les dédoublements de l'épiderme. Toutes ces plantes appartiennent donc au premier type de M. Eriksson, bien que des plantes très-voisines appartiennent au deuxième, comme le *Photinia serrulata* étudié par cet auteur.

Les *Amygdalées* ont à peu près les mêmes caractères. La radicule de l'*Amygdalus amara* J. Bauh. et de l'*Emplectocladus fasciculata* Gray, quoique plus allongée que celle de l'*Eriobotrya*, n'en diffère que par quelques détails tout à fait insignifiant.

Dans le *Prunus Brigantiaca*, il est douteux que le cylindre central soit distinct jusqu'au sommet. L'épiderme de la radicule est en continuité avec l'assise sous-épidermique de la tigelle, dont l'épiderme recouvre la coiffe tout entière. L'*Armeniaca vulgaris* Lamk ne diffère du *Prunus Brigantiaca* que par ses dimensions plus considérables.

Dans les *Pomacées* et *Amygdalées* que nous venons d'étudier, c'est à l'intensité du cloisonnement cellulaire qu'est due principalement la confusion et l'irrégularité des initiales. Il suffit, pour s'en assurer, de comparer ces plantes à celles que nous

avons observées dans les familles voisines. Plus la radicule est développée, moins les rapports y sont nets.

LÉGUMINEUSES.

Le grand intérêt que présente l'ordre des Légumineuses n'a pas échappé aux différents auteurs qui se sont occupés de rechercher la structure du sommet de la racine. MM. Prantl et Russow, chacun de leur côté, ont signalé qu'il n'existe pas de limite distincte entre les tissus primaires dans la racine de quelques Papilionacées. M. de Janczewski considère cette famille comme le meilleur exemple de son quatrième type (1). M. Eriksson les place dans son troisième type, qui correspond au quatrième de M. de Janczewski (2).

M. Holle combat d'une façon toute particulière l'opinion de M. de Janczewski : il ne voit dans le troisième et le quatrième type de M. de Janczewski que deux modes différents de l'accroissement terminal. Dans quelques plantes, le type de l'*Helianthus* apparaît dans la graine mûre (*Vicia sativa*, *V. narbonensis*, *Robinia Pseudacacia*) (3). Ces racines prennent peu à peu l'aspect qui caractérise le quatrième type de M. de Janczewski. Quelquefois la structure de l'*Helianthus* n'est plus visible, même dans l'embryon avant la germination. On a donc affaire dans ce cas à un état secondaire, à une dégénérescence du sommet végétatif typique. M. Eriksson a longuement répondu à ces objections de M. Holle (4) ; il a même figuré la radicule du *Vicia sativa* avant et après la germination : à aucun âge il n'y a observé la structure de l'*Helianthus*. De mon côté, je n'ai vu, ni dans le *Vicia sativa*, ni dans aucune plante de cet ordre, une spécialisation des initiales comparable à celle qu'on rencontre chez les Composées. Toutes ont une structure bien éloignée de celle de l'*Helianthus*. Dès l'état embryonnaire, leur

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 25.
(2) Eriksson, *loc. cit.*, p. 415.
(3) Holle, *loc. cit.* (*Bot. Zeit.*, 1876).
(4) Eriksson, *loc. cit.*, p. 415, et pl. XXIV.

racine diffère de celle de l'*Helianthus* presque autant que lorsqu'elle est complétement développée. Quoi qu'en dise M. Holle, la radicule du *Vicia sativa* et celle du *V. narbonensis* diffèrent peu avant la germination de ce qu'elles sont plus tard.

Papilionacées. — La radicule du *Pisum sativum*, par exemple, dont la racine développée est décrite et figurée très-exactement par M. de Janczewski (1), ne présente avec le pivot et avec le sommet de toute autre racine de la même plante, que des différences légères.

Le cylindre central se confond avec l'écorce; l'écorce se confond avec la coiffe. Nulle part le groupe des cellules initiales n'est aussi considérable que chez les Papilionacées. Comme il acquiert une grande largeur, M. de Janczewski lui a donné le nom d'assise génératrice transverse; il le considère comme fonctionnant d'une façon toute particulière, comme produisant la partie centrale de la coiffe d'un côté, le tissu du cylindre et de l'écorce de l'autre. Les parties latérales de la coiffe seraient, d'après cet auteur, formées par l'épiderme.

Cette interprétation peut paraître vraisemblable quand on a étudié le sommet d'une racine développée; mais, si l'on examine la radicule de la même plante (fig. 37), on reconnaît que son sommet présente les mêmes caractères que celui du *Kœlreuteria* (fig. 24).

La confusion est complète entre les initiales du cylindre central, de l'écorce et de la coiffe; mais le groupe d'initiales communes est disposé autrement que dans la racine développée.

Dès que les tissus se distinguent des initiales, ils présentent les mêmes caractères que dans toutes les autres Dicotylédones.

Le cylindre central se développe fort irrégulièrement. Le péricambium s'en distingue en premier lieu. L'écorce, caractérisée par les nombreux méats qui séparent les cellules qui la constituent, se forme en direction centripète. La coiffe, confondue au sommet avec les initiales de l'écorce, est latéralement en rapport avec l'épiderme, qui la forme par ses divisions tan-

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 25, et pl. XVI. fig. 3.

gentielles. Il n'y a pas lieu, je pense, de considérer les initiales communes comme ayant un fonctionnement différent de celui qu'elles ont dans les autres Dicotylédones.

Le développement cellulaire étant très-intense dès le début, surtout au sommet, la confusion y est aussi beaucoup plus grande que d'habitude. M. Holle y voit une dégénérescence secondaire et croit que l'étude du développement de l'embryon permettrait d'observer un moment où ces plantes possèdent réellement la structure de l'*Helianthus*. Il est possible qu'il en soit ainsi, mais il se peut aussi que le cloisonnement ait lieu avec beaucoup d'intensité dès le début du développement, et que dès l'origine les caractères de la racine des Papilionacées diffèrent de ceux de la racine des Composées.

Quoi qu'il en soit, le *Pisum sativum* possède le seul caractère que nous ayons pu constater chez toutes les plantes dicotylédones sans exception : *la coiffe est formée par des divisions tangentielles de l'assise qui lui a donné naissance, et ne se régénère pas par elle-même*. Elle rentre donc par là dans le type général des Dicotylédones, dont elle constitue une modification importante.

La radicule du *Phaseolus vulgaris* L., de l'*Ervum Lens* L., du *Vicia Faba* L., du *Vicia sativa* figurée par M. Eriksson (1), du *Dolichos Lablab* L., présente les mêmes caractères que celle du *Pisum* : il n'y a entre toutes ces plantes que des différences dans la dimension de l'organe ; les rapports sont partout les mêmes.

L'*Amphicarpea monoica* Ell. et le *Tetragonolobus purpureus* Mœnch possèdent encore les mêmes caractères, mais réalisent la structure du *Pisum* avec une organisation plus simple. La radicule de ces deux plantes est courte et obtuse ; les trois méristèmes primaires sont confondus au sommet, mais ils acquièrent un développement moindre ; la coiffe notamment n'est formée que de 6-8 couches presque régulières.

Toutes les Papilionacées que je viens de citer présentent

(1) Ériksson, *loc. cit.*, pl. XXIV, fig. 19 et 20.

donc les mêmes caractères généraux ; elles constituent l'une des modifications les plus importantes du type des Dicotylédones. Mais M. Eriksson a décrit avec beaucoup de soin la radicule de quelques espèces du genre *Lupinus* comme constituant un type tout particulier (quatrième type de M. Eriksson) (1).

J'ai confirmé les observations de cet auteur sur la radicule des *Lupinus nanus*, Dougl. *L. mutabilis* Swert., *L. albus* L. Je les ai étendues au *L. hirsutus* L. et au *L. succulentus* Dougl.

Malgré des différences de dimension, la radicule de toutes ces plantes présente les mêmes caractères généraux.

Dans le *L. mutabilis*, par exemple, le cylindre central est distinct jusqu'au sommet, malgré la petitesse des cellules qui le forment; le péricambium paraît recouvrir le sommet du cylindre. Les couches de l'écorce, au lieu de se réduire au sommet à un certain nombre de couches d'initiales, se dédoublent successivement et fort irrégulièrement; l'épiderme de la tigelle se continue directement au-dessus de la radicule. Toutes les assises de l'écorce contribuent, par leurs divisions tangentielles irrégulières, à former la coiffe ; les couches corticales les plus extérieures se divisent très-loin du sommet ; elles se divisent d'autant plus près du sommet qu'elles sont plus internes (2). Les plus extérieures subissent aussi des divisions plus fréquentes que les couches inférieures.

L'ensemble des couches de l'écorce dédoublées constitue la coiffe ; la radicule n'a pas d'autre épiderme que celui de la tigelle, qui recouvre toute la coiffe et qui sera évidemment exfolié comme première couche de la coiffe. La coiffe est produite par toutes les assises de l'écorce. J'ai fait connaître plus haut une structure comparable à celle-ci dans la radicule du *Thesium* et de l'*Osyris* (page 133). Dans ces plantes, toutes les assises de l'écorce ne se dédoublent pas pour former la coiffe, mais le nombre de ces assises ne diminue pas au sommet; toutes le

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 423, pl. XXVI, fig. 24, et pl. XXVII, fig. 26.
(2) Id., *ibid.*, pl. XXVII, fig. 26.

recouvrent. L'assise sous-épidermique se divise une fois tangentiellement vers le sommet, tandis que l'épiderme se dédouble plusieurs fois pour former la plus grande partie de la coiffe. Cette observation acquiert un grand intérêt, par suite des faits nouveaux que nous fournit l'étude des Lupins.

Elle permet de supposer différentes modifications de même ordre que celles dont les Lupins nous servent d'exemples.

Les *Césalpiniées* nous fournissent quelques-unes de ces modifications. Le *Gleditschia ferox* Desf. présente à peu de chose près les caractères du *Pisum*. La radicule est énorme, comme chez la plupart des plantes de cette famille. Le cylindre central du *Gleditschia* est fort épais; il n'est pas nettement limité au sommet, et se confond avec les initiales de l'écorce. La coiffe est formée par les divisions tangentielles de l'épiderme; ces divisions sont, il est vrai, moins régulières que chez la plupart des plantes; de plus, les couches séparées de l'épiderme se dédoublent fréquemment dans la suite : il en résulte que les rapports de la coiffe sont moins nets que dans beaucoup de cas. Mais nous avons souvent vu se présenter dans la coiffe des modifications résultant du dédoublement tardif de ses couches.

En somme, il n'y a entre le *Gleditschia* et la plupart des Papilionacées aucune différence notable.

Il me paraît probable que le *Cassia Sophera*, étudié par M. Holle et rapporté par lui au type de l'*Helianthus*, présente à peu près les mêmes caractères que le *Gleditschia*. En effet, la radicule du *Cassia grandiflora* Desf. et celle du *C. florida* Vahl. diffèrent peu de celle du *Gleditschia*. L'assise épidermique de la tigelle recouvre toute la racine sans se diviser; c'est l'assise sous-épidermique qui, par ses divisions tangentielles, forme la plus grande partie de la coiffe : une ou deux des couches corticales que recouvre immédiatement l'assise sous-épidermique se dédoublent et contribuent à former la coiffe. La coiffe du *Cassia grandiflora* ou du *C. florida* a donc une organisation un peu plus complexe que celle du *Gleditschia*; elle tend à devenir corticale.

La radicule du *Cercis Siliquastrum* L. (fig. 38) se rapproche

davantage de celle des Lupins. Le cylindre central est distinct jusqu'au sommet; le péricambium ne paraît pas interrompu et semble le recouvrir complétement. L'écorce est formée de cellules disposées en files verticales souvent interrompues; aussi ne peut-on déterminer le développement de l'écorce d'une façon rigoureuse. D'une façon générale, ce développement est centripète. La plupart des couches se concentrent au sommet et se réunissent en quatre couches d'initiales.

Les couches corticales extérieures, au lieu de se réunir, se dédoublent irrégulièrement vers le sommet; toute la partie externe de l'écorce contribue à former la coiffe par le dédoublement de ses assises; l'épiderme y prend pourtant la plus grande part (fig. 38). La coiffe est du reste moins développée que chez la plupart des Césalpiniées; sa structure en est d'autant plus nette. C'est pourquoi j'ai figuré le *Cercis* comme présentant un des meilleurs exemples de ce mode de structure.

Dans le *Cæsalpinia brevifolia*, le cylindre central ne m'a jamais paru bien limité au sommet; ses divisions sont très-irrégulières. Les couches corticales, au lieu de se réduire à l'extrémité, recouvrent toutes le sommet du cylindre central en se divisant tangentiellement ; les couches les plus profondes se dédoublent très-peu et seulement tout près du sommet. A mesure que les couches deviennent plus extérieures, elles se dédoublent plus fréquemment, et le dédoublement a lieu en des points plus éloignés de la pointe de la racine. Les couches tout à fait superficielles se dédoublent abondamment ; il en résulte que la coiffe est formée par l'écorce tout entière, et qu'elle est beaucoup plus développée que celle du *Cercis Siliquastrum* (fig. 39).

Le *Guilandina Bonduc* L. diffère peu du *Cæsalpinia*. Les cellules de la région axiale de la coiffe sont disposées en séries verticales dans toutes les plantes que nous venons d'étudier ; elle l'est beaucoup moins dans le *Cercis* que dans toutes les autres.

Je n'ose affirmer que le cylindre central du *Tamarindus indica* L. soit absolument limité jusqu'au sommet ; il l'est très-vraisemblablement, mais au sommet même il se distingue

à peine de l'écorce. Les divisions du cylindre central paraissent se produire en direction principalement centrifuge, quoique beaucoup de dédoublements aient lieu loin du sommet, même dans les assises les plus centrales. Comme dans le *Cæsalpinia*, toutes les couches de l'écorce se dédoublent pour former une coiffe corticale; mais tandis que dans cette dernière plante les assises profondes se divisent peu, et la coiffe est formée surtout par le dédoublement des couches corticales externes, c'est l'inverse qui a lieu dans le *Tamarindus :* les couches les plus profondes de l'écorce se dédoublent plus que les plus extérieures (fig. 40).

L'épiderme ne prend aucune part à la formation de la coiffe; il la recouvre tout entière. Les assises sous-épidermiques ne se divisent pas davantage; les couches plus internes se dédoublent une, deux ou trois fois, quelquefois même davantage (fig. 40). Dans la partie la plus profonde, les cellules deviennent très-petites; elles y sont disposées en séries verticales et forment une colonne très-large.

Enfin la radicule du *Gymnocladus canadensis* Lamk diffère peu de celle du *Cercis* par ses caractères généraux : elle se termine en cône très-court; le cylindre central y est énorme; des faisceaux procambiaux périphériques entourent une moelle centrale très-volumineuse; le péricambium entoure complétement le cylindre central.

L'écorce est formée de couches dont les cellules sont disposées les unes sur les autres en files irrégulières, comme dans le *Cercis*. La coiffe est formée surtout par les couches extérieures de l'écorce et principalement par l'épiderme; les trois ou quatre couches corticales externes seules contribuent à former la coiffe. Toutes les couches profondes de l'écorce se réunissent en un petit nombre d'assises d'initiales à peu près comme dans le *Cercis ;* mais dans le *Gymnocladus* la radicule est beaucoup plus puissante et les cellules qui la constituent sont au contraire plus petites. Les caractères en sont moins nets par suite; il y a plus de confusion entre les deux parties de l'écorce.

Pour résumer, en peu de mots, ce qui vient d'être dit au sujet

des *Césalpiniées*, rappelons que nous avons trouvé au *Gleditschia* et aux *Cassia* une structure analogue à celle des *Papilionacées*. Dans les autres *Césalpiniées*, l'écorce contribue par ses divisions tangentielles à former la coiffe : tantôt les couches internes se dédoublent plus abondamment que les externes ; tantôt les couches internes ne se dédoublent pas, se réduisent même au sommet à un petit nombre de couches d'initiales, et les couches extérieures, l'épiderme et les assises qu'il recouvre immédiatement forment, dans ce cas, la coiffe tout entière.

La coiffe, formée dans tous les cas par l'écorce, peut donc être en rapport avec elle à des degrés très-divers.

Mimosées. — Depuis que M. Holle a fait connaître la structure de la radicule de diverses espèces d'*Acacia*, M. Eriksson a étendu les observations de cet auteur au *Mimosa pudica* (1).

Mon opinion diffère pourtant de celle de M. Holle au sujet de quelques détails peu importants de la structure de l'*Acacia lophantha* Willd. (fig. 41).

Le cylindre central me paraît toujours distinct dans les coupes axiales de cette plante ; le péricambium paraît l'entourer complétement et se distingue nettement des assises sous-jacentes par la disposition régulière de ses cellules. Il me semble qu'on voit toujours la division tangentielle des couches de l'écorce pour former la coiffe, plus nettement que cela n'est figuré par M. Holle (2). Bien que ces divisions soient fort irrégulières, on reconnaît qu'elles dominent dans la partie externe de l'écorce, qu'elles sont moins abondantes dans la partie profonde, ce qui ne me paraît pas suffisamment indiqué dans la figure donnée par M. Holle.

L'épiderme ne prend aucune part à la formation de la coiffe. Ses cellules changent de forme en s'approchant du sommet : elles étaient cubiques ou irrégulièrement polygonales ; elles deviennent tabulaires, aplaties. C'est ainsi modifié que l'épiderme recouvre toute la racine. La plus grande partie de la coiffe

(1) Eriksson, *loc. cit.*, p. 425, pl. XXVI, fig. 26.
(2) Holle, *Bot. Zeitung*, loc. cit., avril 1876, fig. 7, *b*.

est formée par l'assise sous-épidermique et les couches immédiatement sous-jacentes.

Une partie de la radicule du *Mimosa pudica* L. a été figurée par M. Eriksson (1) d'une façon fort exacte; le *Mimosa marginata* et le *M. acanthocarpa* présentent les mêmes caractères : je me dispenserai donc d'entrer dans de grands détails au sujet de ces plantes, qui ressemblent d'ailleurs beaucoup aux Lupins. Je ferai remarquer seulement que les cellules les plus profondes de l'écorce se distinguent par leur forme de celles qui appartiennent au cylindre central, ce qui n'a pas lieu aussi nettement dans les Lupins, les couches de l'écorce et ausssi les couches de la coiffe étant un peu plus différenciées dans le *Mimosa* que dans les Lupins.

La coiffe est formée chez les plantes de l'ordre des *Légumineuses* de façons très-diverses. Elle existe partout, mais il n'est pas possible de préciser ses caractères anatomiques. Partout elle résulte du dédoublement des couches extérieures au cylindre central; quelquefois elle est formée par l'épiderme, quelquefois par une partie de l'écorce, ailleurs par l'écorce entière. Ces différences d'origine, si remarquables chez des plantes très-voisines, me semblent démontrer d'une façon péremptoire que la coiffe a une importance toute physiologique, qu'elle ne doit pas être considérée comme un caractère de définition : la coiffe est formée pour protéger la racine. Elle se forme de différentes manières; quand elle n'est plus nécessaire, elle disparaît.

AMENTACÉES.

Juglandées. — La radicule du *Juglans regia* L. et du *Carya porcina* Michx est épaisse; elle est surtout fort remarquable par l'intensité du cloisonnement des cellules : aussi les rapports des différentes parties sont-ils difficiles à saisir. Le cylindre central, fort développé, ne se distingue pas des initiales de l'écorce; on ne trouve au sommet qu'un groupe de très-petites initiales

(1) Eriksson, *loc. cit.*, pl. XXVI, fig. 25.

coupées de cloisons obliques et irrégulières. L'écorce demeure très-épaisse, même au sommet, où l'on ne trouve pas moins de huit à dix couches d'initiales propres à l'écorce. Vers l'intérieur, elles se confondent avec le cylindre central, vers l'extérieur avec la coiffe. La coiffe n'est pas formée exclusivement par l'épiderme; les couches sous-épidermiques contribuent à la former par leurs dédoublements tangentiels et rapprochent ces plantes des *Césalpiniées;* mais la plus grande partie de la coiffe est pourtant produite par l'épiderme.

Remarquons que dans ces plantes, comme dans presque toutes celles que nous avons étudiées, la confusion des initiales est en rapport avec un développement anatomique excessif.

Les *Quercinées* que j'ai observées, possèdent toutes une radicule très-développée au point de vue anatomique. Malgré des différences notables de volume, la radicule du *Quercus Haas* Katsch., celle du *Fagus silvatica* L., du *Castanea vesca* Gærtn. et du *Corylus Avellana* L., présentent les mêmes caractères généraux. Ces caractères rapprochent ces plantes des *Papilionacées*; elles appartiennent toutes au troisième type de M. Eriksson, comme cet auteur l'avait déjà reconnu pour le *Fagus*. Les trois tissus primaires se confondent au sommet de la radicule; le développement de l'écorce est principalement centripète. La coiffe est formée tout entière par les divisions tangentielles de l'épiderme.

Myricées, Casuarinées. — La radicule du *Myrica Faya* H. Kew, malgré ses faibles dimensions, diffère peu de celle du *Corylus Avellana :* l'irrégularité du cloisonnement et la petitesse des cellules confondent les tissus primaires au sommet; la coiffe n'est guère formée que de six à huit couches, mais ces couches chevauchent les unes sur les autres et ne sont pas régulières.

Il en est de même pour le *Casuarina equisetifolia* L., la petitesse des cellules rend les caractères fort obscurs. Cependant le groupe d'initiales est moins considérable dans le *Casuarina* que dans les *Quercinées*, et le rapproche davantage de la structure typique des Dicotylédones, que M. de Janczewski attribue d'ailleurs aux radicelles du *Casuarina stricta*.

Résumé.

Comme chez les Monocotylédones, les initiales paraissent souvent être communes à différents tissus, par suite de l'intensité considérable de l'accroissement cellulaire, en même temps que d'une faible différenciation des cellules qui constituent les tissus très-développés en volume. On rencontre très-fréquemment, en effet, des initiales spéciales au sommet de la radicule de plantes dont l'embryon est petit, tandis que chez des plantes très-voisines, dont l'embryon est plus volumineux, les initiales se confondent en un méristème commun.

Cette confusion des initiales peut être plus ou moins grande, suivant que la faible différenciation anatomique des cellules et l'intensité du cloisonnement agissent simultanément ou séparément.

Le *cylindre central* est le plus souvent indépendant des autres tissus primaires. Il faut que la confusion des tissus soit très-grande au sommet, pour qu'elle atteigne le cylindre central; cela n'arrive ordinairement que chez des plantes qui ont une radicule fort développée (Acérinées, Hippocastanées, Papilionacées, Pomacées, Amentacées, etc.).

Le péricambium paraît quelquefois continu au sommet, mais il ne l'est pas ordinairement; il est le plus souvent spécialisé tout près du sommet.

Le reste du cylindre se développe le plus souvent fort irrégulièrement; cependant il témoigne des tendances à se développer en direction centrifuge.

L'*écorce* est formée aux dépens d'une, deux, trois couches d'initiales, ou davantage; quand il n'y en a qu'une, elle est le plus souvent réduite à deux cellules : c'est le cas le plus simple.

L'écorce se développe ordinairement presque complétement en direction centripète; il est rare qu'on lui reconnaisse une partie centripète et une partie centrifuge : nous n'en avons rencontré que très-peu d'exemples (Renonculacées, *Hypecoum*).

Il est plus rare encore que le développement de l'écorce soit exclusivement centrifuge (*Globularia*).

Il résulte de ce que l'accroissement est presque toujours centripète, que l'endoderme n'est formé qu'à une distance assez considérable du sommet.

L'*épiderme* a, dans la majorité des *Dicotylédones*, des initiales qui, par leur division tangentielle, forment successivement les assises de la coiffe. *Il est tout à fait indépendant de l'écorce.*

Il arrive fréquemment que l'épiderme ne se différencie qu'assez loin du sommet; dès qu'il est différencié, ses dédoublements tangentiels forment la coiffe.

Dans quelques cas cependant, l'épiderme ne fonctionne pas autrement que les différentes assises de l'écorce; dans ce cas, toutes les assises de l'écorce peuvent se dédoubler pour former la coiffe par leur ensemble.

La *coiffe* est ordinairement une dépendance intime de l'épiderme; quelquefois elle est formée exclusivement par l'écorce.

Dans tous les cas, *la coiffe reste toujours dépendante des couches qui lui ont donné naissance, et se régénère par la division tangentielle de ces couches.*

On rencontre quelquefois une gaîne radiculaire chez les *Dicotylédones;* jamais elle ne forme la coiffe, comme nous avons vu que cela arrive quelquefois chez les *Monocotylédones*.

GYMNOSPERMES.

C'est à titre de point de comparaison seulement que je m'occuperai maintenant du sommet de la racine chez les *Gymnospermes*. Après ce qui en a été dit par M. Reinke (1) et surtout par M. Strasbürger (2), il reste fort peu à faire sur ce sujet. Déjà M. de Janczewski a confirmé les travaux de ces savants et

(1) Reinke, *Bot. Zeitung*, 1872, p. 49 et suiv.
(2) Strasbürger, *Die Coniferen und Gnetaceen*. Iena, 1872.

a déclaré qu'il serait difficile d'y ajouter quelque chose (1). Il est cependant essentiel que nous les examinions pour mettre en relief quelques caractères particuliers à la radicule.

Toutes les *Gymnospermes* que j'ai étudiées diffèrent de la plupart des *Dicotylédones*, en ce que toutes les couches de l'écorce se divisent tangentiellement au voisinage du sommet de la racine, comme nous l'avons vu chez beaucoup de *Légumineuses*. Je n'ai trouvé dans aucune *Gymnosperme* la coiffe formée exclusivement par l'épiderme; le cloisonnement peut être pourtant plus abondant dans l'épiderme que dans toutes les autres assises.

Conifères. — La radicule du *Pinus halepensis* Mill. et celle du *Pinus Pinea* L. sont fort allongées; cette longueur remarquable est due à l'accroissement excessif de la coiffe. La fig. 42 ne représente de cette coiffe que la partie voisine des initiales, c'est-à-dire à peu près le quart de la coiffe entière. Dans la région axiale, les cellules sont disposées en files verticales, qui s'étendent sur toute la hauteur de l'organe.

Le cylindre central, parfaitement limité au sommet, s'y réduit à un groupe d'initiales irrégulières, plus grandes que les cellules qui constituent les files du cylindre central; le péricambium est l'une des premières assises formées par ces initiales.

L'écorce, formée de cellules assez régulièrement polyédriques, change de caractères au voisinage du sommet du cylindre. Presque toutes les couches de l'écorce se divisent tangentiellement, et les nouvelles couches ainsi formées s'aplatissent pour se placer les unes entre les autres. C'est dans cet état qu'elles recouvrent l'extrémité du cylindre central. Bien que toutes les couches corticales se dédoublent à quelque distance du sommet, il faut remarquer qu'en dehors de celles qui sont évidemment formées par les divisions tangentielles de l'épiderme, il y a encore un nombre considérable de couches extérieures.

La figure 43 représente une partie de la radicule du *Pinus*

(1) De Janczewski, *Accroissem. termin. des racines*, p. 28.

Pinea L., pour montrer la façon dont l'épiderme de la tigelle se divise, et l'irrégularité de ses divisions. Comme dans le *Pinus halepensis*, on trouve en dehors des couches dépendant de l'épiderme un grand nombre de couches de même nature, qui ne sont pas actuellement en relation avec l'épiderme.

Dans la radicule du *Biota orientalis* Endl., la coiffe est peu développée ; la partie de la coiffe formée par l'épiderme est plus considérable que l'ensemble des couches formées par le dédoublement des assises de l'écorce. Un certain nombre de ces assises ne se dédoublent pas, de sorte que l'épaisseur de l'écorce diminue plutôt qu'elle n'augmente au sommet.

La coiffe est plus développée dans la radicule du *Cupressus sempervirens* L. ; toutes les couches de l'écorce contribuent à la former ; l'épiderme y prend cependant la plus large part.

La radicule du *Cedrus atlantica* Manett. se comporte à peu près comme celle des Pins. Sa coiffe est beaucoup moins développée ; l'épiderme contribue à la former, plus que toutes les autres couches de l'écorce. L'épiderme extérieur se dédouble un grand nombre de fois à peu près au même point (fig. 44) ; il en résulte en ce point un épaississement considérable qui forme tout autour de la radicule un bourrelet épais. Dans les Conifères, la limite entre la radicule et la tigelle se trouve au point où l'épiderme, subissant une première division, perd ses caractères comme épiderme de tige ; quand un bourrelet saillant se forme en ce point, la limite se reconnaît facilement.

Gnétacées. — Au point de vue de la structure du cylindre central au sommet de la radicule, l'*Ephedra distachya* L. et l'*E. altissima*, Desf. (fig. 45), diffèrent peu du *Pinus halepensis*. Le développement du cylindre central est irrégulier ; le péricambium y est formé de très-bonne heure.

L'écorce ne se divise pas en direction centripète, comme dans la plupart des Dicotylédones ; toutes les couches corticales recouvrent le sommet de la racine, et s'y dédoublent pour former une coiffe corticale. La division tangentielle des couches de l'écorce a lieu d'autant plus près du sommet que les couches sont plus profondes, et les couches formées par ces divisions

sont irrégulières, surtout dans l'*E. distachya;* dans la partie axiale, les cellules sont disposées en séries verticales, en « colonne », suivant l'expression de quelques auteurs.

Dans les *Ephedra*, l'épiderme contribue fort peu à la formation de la coiffe ; contrairement à ce que nous avons constaté chez les Conifères, il ne se dédouble pas toujours : dans l'*E. distachya*, il m'est arrivé souvent de voir l'épiderme recouvrir toute la coiffe sans se diviser ; dans l'*E. altissima*, il se dédouble un petit nombre de fois (fig. 45). — Il paraît donc, d'après toutes les observations réunies jusqu'ici, que les Gymnospermes manquent toujours d'une coiffe propre, que toujours le rôle de cet organe est rempli par les couches de l'écorce modifiées au sommet de la racine. Toutes les couches de l'écorce se comportent chez les Gymnospermes comme l'épiderme chez les Composées : l'épiderme n'a pas un rôle différent du rôle d'une couche quelconque de l'écorce ; aucune couche ne peut donc être appelée spécialement calyptrogène, pas plus que chez beaucoup de Césalpiniées, les Mimosées et quelques Papilionacées.

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

Nous avons étudié la structure du sommet de la radicule dans tous les groupes importants des Phanérogames ; essayons de résumer les faits que nous avons observés, et voyons quelles sont les conséquences qu'on peut en tirer.

Nous avons reconnu, par la comparaison des résultats obtenus sur un grand nombre de plantes, un certain nombre de caractères très-constants, qui par là même acquièrent une importance considérable.

L'étude anatomique du sommet végétatif permet de distinguer immédiatement une racine de Monocotylédone d'une racine de Dicotylédone ou de Gymnosperme.

Je n'ai trouvé aucun passage entre les deux embranchements des Angiospermes.

C'est dans le fonctionnement de la coiffe, dans le rôle des ini-

tiales de l'écorce relativement à la formation de l'épiderme, et dans le rôle de l'épiderme relativement à la formation de la coiffe, que résident les caractères les plus importants.

Dans les Monocotylédones, l'épiderme est ordinairement formé par l'une des premières segmentations des initiales de l'écorce; quelquefois il paraît formé par leur première division; peut-être en est-il séparé dès l'origine, dans un petit nombre de plantes.

La *coiffe* paraît, le plus souvent, avoir été formée par une division tangentielle de l'épiderme à une époque fort reculée du développement de l'embryon; à partir de ce moment, *elle reste absolument indépendante de l'épiderme et se régénère par l'activité de sa couche interne.* Cette couche interne se dédouble, et c'est par les dédoublements successifs de la couche interne nouvellement formée que la coiffe se renouvelle à mesure que les assises externes s'exfolient.

Le fonctionnement de la coiffe est donc absolument indépendant du fonctionnement de l'épiderme.

Dans les Dicotylédones, l'épiderme a des initiales indépendantes de celles de l'écorce, au moins dans tous les cas où l'écorce a des initiales distinctes.

La *coiffe* est formée le plus souvent par les divisions tangentielles de l'épiderme, quelquefois par les divisions des assises de l'écorce; *elle ne devient jamais indépendante des couches qui la forment; elle se régénère par la division tangentielle successive de la partie la plus jeune de ces couches.* Dans les Gymnospermes, la coiffe est toujours formée par la division tangentielle des couches de l'écorce.

Le fonctionnement de la coiffe dépend toujours du fonctionnement de l'épiderme ou de l'écorce, chez les Dicotylédones et chez les Gymnospermes.

Tous les autres caractères présentés par la racine des Phanérogames ont moins de valeur.

On a attaché jusqu'à présent à la *spécialisation plus ou moins grande des initiales* assez d'importance pour la considérer comme un caractère essentiel du sommet de la racine; on a

même établi des « types » de structure fondés sur le degré de spécialisation des initiales.

La disposition de ces cellules varie beaucoup, non-seulement avec les espèces, mais aussi avec l'âge, avec l'épaisseur d'une racine : quand une racine est étroite, les initiales sont moins nombreuses et plus spécialisées que lorsque la racine est épaisse. Il ne faut pas pourtant considérer l'épaisseur absolue d'une racine ; il n'est question ici que de l'épaisseur de la racine relativement au nombre et à la dimension des cellules qui la constituent. Il peut se faire, en effet, qu'une racine soit très-petite, mais formée d'un très-grand nombre de cellules de dimensions faibles ; il ne faut pas s'étonner qu'elle présente les mêmes caractères qu'une racine plus volumineuse, formée de cellules plus grandes.

C'est ainsi que la radicule des Pomacées, très-étroite et formée de cellules fort petites, présente absolument les mêmes caractères que la radicule de la plupart des Papilionacées, dont les cellules sont plus volumineuses. Quand le cloisonnement est fort actif, quelles que soient les dimensions absolues de la racine, les tissus primaires se confondent en un groupe d' « initiales communes ».

On a généralement considéré les initiales communes comme le résultat d'un manque de différenciation anatomique au sommet de la racine ; il est rare pourtant qu'il en soit ainsi ; c'est presque toujours dans les racines les plus épaisses, chez lesquelles l'activité des divisions cellulaires est très-grande, que des initiales spéciales ne peuvent être reconnues. Ce n'est donc pas à un manque de différenciation qu'il faut attribuer la structure du sommet de beaucoup de racines ; mais bien plutôt à une confusion résultant du grand développement cellulaire.

Puisque la racine d'une même plante présente à différentes époques de son existence des variations notables, il est naturel que des différences analogues se montrent chez des plantes très-voisines. Ces différences sont presque toujours en rapport avec l'intensité du développement cellulaire.

Le degré de spécialisation des initiales ne pourrait être ap-

précié à sa juste valeur que si l'on avait étudié les racines de beaucoup de plantes au même état de développement. Les racines adultes sont très-différemment développées. Le développement de la radicule, lors de la maturité de la graine, est encore plus variable. Il faudrait donc rechercher pour beaucoup de plantes des états réellement comparables, ce qui est très-difficile. Cette étude seule pourra révéler s'il y a, dès le début du développement, des différences notables entre des plantes voisines; elle pourrait aussi nous apprendre d'une façon définitive s'il faut admettre pour chaque embranchement des Phanérogames le mode de structure spécial que nous avons reconnu.

Le *fonctionnement des tissus primaires*, quand ils sont spécialisés, ne nous fournit pas de caractères plus sérieux.

Le cylindre central tire son origine d'un nombre très-variable d'initiales; leurs divisions sont fort irrégulières.

L'écorce des Dicotylédones se forme, il est vrai, presque toujours en direction centripète; dans quelques cas pourtant, le développement est exclusivement centrifuge. Chez les Monocotylédones, le développement est ordinairement en partie centripète, en partie centrifuge; mais il arrive aussi qu'il soit très-irrégulier, ou que l'un prédomine énormément sur l'autre.

Nous nous bornerons donc à considérer comme importants les caractères que nous avons énoncés d'abord, les seuls au sujet desquels nous n'ayons jamais observé de variations dans un même groupe.

La coiffe, dont les relations avec les tissus voisins peuvent servir à caractériser la racine des Monocotylédones vis-à-vis de celle des Dicotylédones, ne doit pourtant pas être considérée comme très-importante au point de vue de la définition anatomique de la racine.

On considère habituellement la présence d'une coiffe se régénérant à l'aide de cloisons tangentielles, *comme l'un des caractères les plus importants de la racine.*

La coiffe existe dans tous les embryons dont l'extrémité radiculaire présente les caractères anatomiques d'une racine ; elle existe aussi dans toutes les racines jeunes ; mais elle dis-

paraît souvent plus tard. Elle n'a qu'une très-courte durée dans le *Pistia* et l'*Hydrocharis;* elle s'exfolie sans se régénérer dans les racines dont l'accroissement est limité, comme les racines tuberculeuses de la Ficaire et des Ophrydées.

La disparition de la coiffe dans les racines à accroissement limité serait, à mon avis, une raison suffisante pour qu'on ne puisse la faire servir à la définition anatomique de la racine.

Ce seul fait de la disparition de la *coiffe* nous apprend qu'elle *n'a qu'une valeur physiologique :* la coiffe est un appareil destiné à protéger le sommet de la racine, comme les écailles et les jeunes feuilles du bourgeon protégent le sommet de la tige.

La coiffe est en effet un organe morphologiquement très-différent. Rappelons-nous son origine dans la radicule ; elle y est formée le plus souvent par la division tangentielle de l'épiderme, mais elle en devient absolument indépendante, ou bien se régénère par les segmentations successives de l'épiderme ; quelquefois elle est constituée par la partie interne d'une gaîne radiculaire qui n'a jamais fait partie de la racine. D'autres fois encore la coiffe est formée par les divisions tangentielles des assises de l'écorce de la racine.

L'origine de la coiffe n'est pas moins variée dans les radicelles : elle provient quelquefois tout entière de l'endoderme ; quelquefois elle est formée en partie par l'endoderme, en partie par le péricambium ; ailleurs elle provient presque entièrement du péricambium et l'écorce ne prend qu'une faible part à sa formation. Enfin, chez les Gymnospermes, elle provient tout entière du péricambium. La coiffe a donc les origines les plus diverses qu'il soit possible d'imaginer; cela me semble lui enlever une partie de son importance au point de vue anatomique.

En outre, quelques organes, qui sont incontestablement des racines, sont dépourvus de coiffe; par conséquent, *la coiffe ne peut être considérée comme un caractère absolu pouvant servir à définir l'organe.* Il n'existe de coiffe que dans la racine, mais elle n'existe pas dans toutes les racines.

Il faut donc voir dans la coiffe un appareil protecteur pour

le sommet délicat des racines; c'est un organe d'une grande importance physiologique, mais son importance disparaît dès que la racine cesse de s'accroître.

La disposition relative des faisceaux ligneux et libériens, la présence d'une assise péricambiale, et le fonctionnement spécial des cellules de l'épiderme qui se prolongent en poils d'absorption, sont des caractères plus généraux qui peuvent bien mieux servir à définir anatomiquement la racine.

Nous avons reconnu qu'*il est facile, avant la germination, d'établir une limite précise entre la tige et la racine par les caractères de l'épiderme de ces organes.* L'épiderme de la tigelle présente, dès la maturité de l'embryon, quelques-uns des caractères qu'il présentera plus tard ; il est extérieur, lisse et souvent cuticularisé; celui de la racine est recouvert au moins par une assise de coiffe, il n'est donc jamais extérieur ; dès le début de la germination ses cellules se prolongent en poils.

Nous avons acquis en outre la certitude que, contrairement à ce qui était admis jusqu'ici par beaucoup d'auteurs, *la racine n'est pas toujours endogène.*

L'origine profonde de la radicule est un fait exceptionnel, rare surtout parmi les Dicotylédones ; plus souvent la radicule est formée superficiellement à la base de la tigelle. La première racine n'est ordinairement recouverte que par la coiffe, qui en est une partie constitutive.

Il résulte aussi des faits mentionnés dans ce travail, que les caractères du sommet de la racine ne peuvent pas nous servir pour apprécier les relations que les familles des Phanérogames ont entre elles.

Les efforts réalisés dans ce sens par M. Treub nous ont valu la connaissance du sommet de la racine développée chez les Monocotylédones ; mais l'organisation du sommet de la racine varie avec son développement : les différences produites par l'état de plus ou moins grand accroissement altèrent les seuls caractères qui pourraient peut-être nous donner des indications sur les rapports qui existent entre des plantes voisines. L'histologie du sommet de la racine ne saurait avoir de valeur à ce

point de vue, que s'il était possible d'étudier les racines de beaucoup de plantes à des états réellement comparables.

En outre, il suit de ce que les caractères du sommet végétatif sont en rapport avant tout avec l'intensité de l'accroissement cellulaire, que les caractères varient chez des plantes très-voisines avec l'âge et le degré de développement de la racine.

On ne peut donc pas s'attendre à trouver d'une façon générale la plus grande différenciation chez les groupes qui occupent les rangs les plus élevés. Si l'on y rencontre une spécialisation remarquable des tissus, il ne faut pas en chercher la cause dans la supériorité des plantes qui les présentent ; c'est à des causes d'ordre tout à fait secondaire qu'il faut l'attribuer.

Par conséquent, la différenciation dans le point végétatif de la racine ne peut servir à déterminer la supériorité ou l'infériorité relative des familles. Elle ne peut pas servir à distinguer les espèces et les genres; elle peut donner quelques indications générales sur la famille à laquelle appartient une racine, mais les caractères du sommet de la racine ne permettent de déterminer d'une façon rigoureuse que l'embranchement auquel appartient la plante dont elle fait partie.

La structure du sommet végétatif ne peut nous servir, au point de vue de la classification, que pour établir d'une façon positive i une plante est monocotylédone ou dicotylédone.

EXPLICATION DES FIGURES.

Toutes les figures (sauf la fig. 5, pl. 1, la fig. 31, pl. 5, la fig. 35 A, pl. 6, les fig. 39 et 40, pl. 7) ont été dessinées au grossissement de 250 diamètres.

cc, cylindre central; — *per*, péricambium; — *end*, endoderme; — *éc. in*, écorce interne; — *éc. ex*, écorce externe; — *sep*, assise sous-épidermique; — *ép*, épiderme; — *c*, coiffe; — *ic*, initiales communes, — *gr*, gaîne radiculaire; — *fc*, faisceaux vasculaires; — *susp*, suspenseur.

PLANCHE 1.

Monocotylédones.

Fig. 1. Radicule du *Carex depauperata* Good. Le péricambium est formé en *per*.

Fig. 2. Radicule du *Commelyna tuberosa* L. Le péricambium est formé en *per*.

Fig. 3. La même, au début de la germination. Le cylindre central s'est élargi; le groupe d'initiales de l'écorce s'est accru; les cellules de la gaîne radiculaire sont séparées par des méats, surtout latéralement.

Fig. 4. Radicule du *Calla palustris* L. L'épiderme, *ép*, n'est formé qu'à une distance assez grande du sommet.

Fig. 5. Embryon du *Phœnix dactylifera* L., faiblement grossi. — *cot*, cotylédon; *g*, gemmule; *ept*, épiderme général qui recouvre le cotylédon et la radicule sans se diviser pour former la coiffe. Le tissu procambial est teinté.

Fig. 6. Initiales de la radicule du *Zephyranthes chloroleuca* Herb.; — *iec*, initiales de l'écorce, dont l'extérieure n'est peut-être pas spéciale, et qui sont superposées au lieu d'être placées côte à côte comme d'ordinaire. L'épiderme n'est spécialisé qu'en *ép*.

Fig. 7. Radicule de l'*Agave Scolymus* Karw. L'épiderme est formé en *ép*.

Fig. 8. Initiales de la radicule de l'*Iris ochroleuca* L. L'épiderme est formé par la première division des initiales de l'écorce.

PLANCHE 2.

Fig. 9. Radicule du *Dyckia rariflora* Schult. Le cylindre central se termine par une seule initiale.

Fig. 10. Radicule du *Pontederia cordata* L. On remarque qu'il y a trois initiales de l'écorce, dont l'une paraît correspondre aux deux autres.

Fig. 11. Initiales d'une racine latérale de l'embryon du *Canna indica* L.

Fig. 12. Radicule de l'*Alisma Plantago* L. Le péricambium est spécialisé tout près du sommet du cylindre central. L'écorce se développe tout entière en direction centripète.

Fig. 13. Radicule du *Triglochin palustre* L. Le péricambium est formé de très-bonne heure; l'endoderme est spécialisé loin du sommet.

PLANCHE 3.

Dicotylédones.

Fig. 14. Initiales de la radicule du *Silybum Marianum* Gærtn. Le péricambium est spécialisé en *per*; l'endoderme en *end*, les initiales de la coiffe sont très-grandes.

Fig. 15. Radicule du *Cephalaria ambrosioides* Boiss. Les initiales de l'écorce ne sont pas régulières; les parties latérales de la coiffe ne le sont pas davantage.

Fig. 16. Radicule du *Vinca major* L.

Fig. 17. Initiales de la radicule du *Cynoglossum officinale* L.

Fig. 18. Initiales de la radicule du *Mandragora vernalis* Bert. Le péricambium est formé très-loin de la ligne médiane, en *per*; les initiales de l'écorce sont fort irrégulières et se confondent un peu avec la coiffe.

Fig. 19. Partie de la radicule du *Globularia vulgaris* L. Le développement de l'écorce y est centrifuge.

Fig. 20. Radicule de l'*Erica cinerea* L. La coiffe se compose de trois cellules.

Fig. 21. Partie de la radicule du *Limnanthes Douglasii* R. Br. L'une des deux initiales de l'écorce est dédoublée tangentiellement.

PLANCHE 4.

Fig. 22. Partie de la radicule de l'*Impatiens Balsamina* L.

Fig. 23. Radicule du *Tropæolum majus* L. L'épiderme de la tigelle, *ept*, recouvre toute la gaîne radiculaire; *susp*, grandes cellules du suspenseur. Les cellules de l'épiderme, *ép*, de la radicule sont remarquablement différenciées.

Fig. 24. Partie de la radicule du *Kœlreuteria paniculata* Lamk. Tous les tissus se confondent en un groupe d'initiales communes; le péricambium se spécialise en *per*, l'endoderme en *end*, l'assise sous-épidermique en *sep*.

Fig. 25. Radicule de l'*Acer Pseudo-Platanus* L. On ne peut y déterminer la limite entre l'écorce et la coiffe au sommet.

Fig. 26. Radicule de l'*Aconitum pyrenaicum*, Lamk.

PLANCHE 5.

Fig. 27. Radicule du *Pæonia officinalis* Bert. L'épiderme de la tigelle, *ept*, recouvre la coiffe; c'est l'assise sous-épidermique de la tigelle qui est en continuité avec l'épiderme de la radicule. Le groupe d'initiales communes *ic* est très-considérable.

Fig. 28. Partie basilaire de la radicule du *Mirabilis Jalapa* L. On y voit les rapports de l'épiderme de la radicule, *ép*, avec les assises corticales de la tigelle qui forment la gaîne radiculaire.

Fig. 29. Radicule de l'*Hedera Helix* L.

Fig. 30. Initiales de la radicule du *Ferula communis* DC. Dans ces deux dernières plantes, la confusion paraît être complète entre les initiales de l'écorce et celles de la coiffe.

Fig. 31. Tigelle du *Viscum album* L., faiblement grossie (coupe perpendiculaire au plan de contact des deux cotylédons). — *ept*, épiderme de la tigelle, *pc*, parenchyme cortical ; *fr*, faisceaux vasculaires.

Fig. 32. Radicule du *Gronovia scandens* L.

Fig. 33. Sommet de la tigelle du *Trapa natans* L. — *pro*, procambium ; *fr*, faisceaux vasculaires ; *pc*, parenchyme cortical ; *ept*, épiderme de la tigelle ; *c*, l'unique assise cellulaire qui puisse être considérée comme constituant une coiffe.

PLANCHE 6.

Fig. 34. Radicule de l'*Hippuris vulgaris* L.

Fig. 35 A. Figure schématique destinée à montrer la disposition du tissu procambial dans l'embryon du *Bertholletia excelsa* Humb. et Bonpl. (coupe longitudinale). — *pro*, procambium ; *par*, parenchyme rempli de matières nutritives ; *c*, groupes de cellules aplaties qui peuvent être considérées comme constituant une coiffe.

Fig. 35 B. Partie de l'embryon du *Bertholletia* correspondant à la portion de la figure 35 A, qui est circonscrite par une ligne pointillée. Mêmes lettres.

Fig. 36. Initiales de la radicule du *Gillenia trifoliata* Mœnch.

Fig. 37. Radicule du *Pisum sativum* L. Le groupe d'initiales communes est très-considérable ; les couches de la coiffe sont fort irrégulières ; toutes les cellules sont très-petites.

PLANCHE 7.

Fig. 38. Radicule du *Cercis Siliquastrum* L. L'écorce est formée de files verticales souvent interrompues ; le péricambium, *per*, paraît continu au sommet. C'est l'épiderme qui contribue le plus à former la coiffe ; les couches corticales profondes se réduisent à quatre couches d'initiales.

Fig. 39. Schéma de la radicule du *Cæsalpinia brevifolia*. Toutes les couches corticales recouvrent le sommet et se divisent pour former la coiffe ; les couches les plus profondes se divisent peu ; les extérieures se divisent un grand nombre de fois.

Fig. 40. Schéma de la radicule du *Tamarindus indica* L. Toutes les couches corticales recouvrent le sommet, comme dans le *Cæsalpinia*, mais les couches profondes se divisent abondamment, tandis que les externes se divisent fort peu.

Fig. 41. Radicule de l'*Acacia lophantha* Willd. Le péricambium, *per*, y paraît continu au sommet du cylindre central. Les divisions tangentielles de l'écorce pour former la coiffe sont fort irrégulières ; elles sont abondantes surtout dans la partie externe de l'écorce. L'épiderme, *ept*, de la tigelle reste continu et indivis au-dessus de la coiffe.

PLANCHE 8.

Gymnospermes.

Fig. 42. Partie de la radicule du *Pinus halepensis* Mill. Le péricambium *per* y est formé de bonne heure; presque toutes les couches de l'écorce se divisent tangentiellement pour former la coiffe.

Fig. 43. Partie de la coiffe de la radicule du *Pinus Pinea* L. Comme dans la figure 42, l'épiderme de la tigelle, *ept*, se divise un grand nombre de fois.

Fig. 44. Partie de la coiffe de la radicule du *Cedrus atlantica* Manett. Les dédoublements de l'épiderme sont très-nombreux en un même point; il s'y forme un bourrelet qui établit une limite nette entre la radicule et la tigelle.

Fig. 45. Radicule de l'*Ephedra altissima* Desf. Le péricambium est formé de très-bonne heure L'épiderme de la tigelle se divise beaucoup moins que chez les Conifères, dont la coiffe est généralement plus développée.

DE L'INFLUENCE

DE LA TEMPÉRATURE DU SOL

SUR L'ABSORPTION DE L'EAU

PAR LES RACINES

Par M. Julien VESQUE

I

INTRODUCTION

1. — Le mémoire que j'ai publié dans ce Recueil sous le titre : « *De l'absorption de l'eau par les racines dans ses rapports avec la transpiration*, » (1) avait pour principal but de montrer dans quelle mesure la transpiration devient une cause prédominante de l'absorption de l'eau par les racines. Je jugeais prudent de ne point traiter d'une manière générale la question si importante des causes de l'ascension de la séve et du chemin qu'elle suit à l'intérieur de la tige ; mais j'espérais néanmoins apporter à la solution de ce problème quelques faits bien observés sur des plantes intactes, entourées de conditions extérieures aussi simples et aussi fixes que possible. M'abstenant complétement d'appliquer immédiatement mes observations à la théorie tout entière, je devais m'attendre à ce que mes expériences marquassent d'elles-mêmes ma place dans la savante discussion

(1) *Ann. des sciences nat.*, 6e série, 1877, t. IV, p. 89; *Ann. agron.*, t. III, p. 321.

qui est en ce moment si vivement engagée. J'ai eu il y a peu de temps la satisfaction de voir que M. Boehm (1) reconnaît dans une de mes expériences un argument en faveur de ses idées sur le mouvement de l'eau. Lorsqu'on élève la température de l'atmosphère qui entoure les organes aériens, on observe un ralentissement de l'absorption de l'eau par les racines; j'ai attribué ce phénomène à l'augmentation de la pression de l'air contenu dans la plante. Cette explication, déjà très-plausible par elle-même, vient d'acquérir une nouvelle force par l'intéressant travail de M. von Hoehnel (2) sur la pression négative de l'air dans les vaisseaux, et réciproquement mon expérience semble prouver que cette pression, beaucoup plus faible qu'on ne l'avait cru jusqu'à présent, devient réellement un puissant agent de l'absorption de l'eau. M. Boehm va plus loin. Il nie l'influence continuelle de la poussée *active* des racines sur l'ascension de l'eau. Il met en doute la *vis à tergo*, en faisant remarquer qu'on ne peut pas toujours en constater l'existence, et que la Vigne même, la fameuse plante « aux pleurs », lorsqu'elle est couverte de feuilles et qu'on en coupe un rameau, absorbe de l'eau par le moignon restant, au lieu d'en faire écouler. A mon avis, ce fait ne justifie pas complétement la conclusion. De ce que la *vis à tergo* est moins forte que la pression atmosphérique, il n'est pas permis de juger qu'elle n'existe pas; il est possible et même certain, dans le plus grand nombre de cas, qu'elle coopère, mais dans une faible proportion, avec la succion, et qu'elle comble une petite portion du vide produit dans les cavités du bois. Il n'y a rien d'étonnant que malgré ce faible appoint, la pression reste très-inférieure à l'atmosphère.

Je ne voudrais pas me prononcer, pour le moment, sur la fraction relative qui, dans le mouvement ascendant de l'eau, revient à la poussée des racines et à la succion produite par la transpiration. Ces deux fonctions, dépendant d'organes absolu-

(1) Boehm, *Warum steigt der Saft in den Bäumen?* p. 18, Wien, 1878.

(2) Fr. von Hoehnel, *Ueber negativen Luftdruck in den Gefassen der Pflanzen* (*Wissensch.-prakt. Untersuch. auf dem Gebiete des Pflanbaues*, Haberlandt, t. II, p. 89).

ment différents, l'une des racines, l'autre des feuilles, varient d'intensité avec le développement de ces organes.

Si nous examinons une très-jeune plante, nous verrons presque toujours que le système radiculaire a déjà pris une certaine extension alors que tout le système aérien se réduit encore aux deux cotylédons et à une plumule extrêmement petite. Dans cet état, la plante est presque toujours pourvue de ces grands stomates aquifères disposés isolément ou par groupes en regard de l'extrémité dilatée des faisceaux ligneux. Pour peu que la transpiration tombe au-dessous d'un certain minimum, on voit perler sur ces places de petites gouttes d'eau : preuve de l'activité relative de la poussée des racines. Plus tard ces stomates perdent ordinairement leurs fonctions; l'action des racines ne pourrait plus contribuer à l'écoulement de l'eau. On conçoit aisément que les « pleurs » peuvent s'expliquer de la même façon : la transpiration étant nulle ou très-faible, les racines peuvent remplir la plante d'eau et faire écouler ce liquide quand il trouve une issue.

Les feuilles une fois développées, l'eau s'évapore d'abord à mesure qu'elle arrive; ensuite, la transpiration croissant, la succion s'établit, et la plante coupée absorbe de l'eau par sa section, au lieu d'en verser.

Ajoutons en passant que la disposition anatomique des stomates aquifères (*névrostomates* de M. Reinke) à l'extrémité des faisceaux purement vasculaires est une preuve du mouvement de l'eau dans les jeunes vaisseaux, comme le pense, du reste, M. Boehm (1).

Dans l'état actuel de la science physiologique, un jugement bien arrêté sur cette question me paraîtrait prématuré. Dans tous les cas, ce me semble, il est permis de croire à l'existence simultanée de ces deux forces, en évitant de tomber dans l'une des deux idées exclusives contraires, la première, qui n'admet que la poussée des racines, la seconde, qui ne croit qu'à la succion.

(1) Boehm, *loc. cit.*

Tel est le sentiment qui m'a guidé dans mon premier mémoire.

S'il est vrai que j'attribue à la transpiration une part très-forte dans l'ascension de la séve, j'ai pourtant reconnu que la poussée des racines intervient sensiblement, que cette poussée dépend de la température du sol, mais que l'effet de la température est moins considérable que celui que j'ai observé sur la transpiration aérienne.

Dans mes recherches précédentes, je tâchais de maintenir à une température fixe, pendant le cours d'une expérience, le liquide qui entourait les organes souterrains de la plante : condition indispensable pour la netteté des résultats.

Je me suis proposé, dans le présent travail, d'étudier l'influence de la température du sol sur l'absorption de l'eau par les racines. Cette question, qui devait depuis longtemps se présenter à mon esprit, je l'ai déjà effleurée dans mon premier mémoire.

Dans la pratique, les jardiniers attachent une importance particulière à la température du sol et de l'eau d'arrosage. Les savants admettent que l'absorption augmente avec la température, que le froid la diminue beaucoup ou peut même la supprimer ; mais, à ma connaissance, aucune expérience directe n'a été tentée pour résoudre cette question, l'historique du sujet dont je m'occupe sera donc bien vite tracé.

Il faut dire pourtant que la solution généralement admise à priori possède toutes les vraisemblances. L'endosmose pouvant être considérée, d'après Graham, comme une espèce de capillarité, la quantité de liquide absorbé augmentera avec la température.

M. Pfeffer (1), qui pensait d'abord que la pression du liquide endosmosé diminue quand la température augmente, a été conduit à des résultats opposés par des expériences plus précises, en se servant comme membranes de petits vases poreux dont la face interne était couverte d'une membrane inorga-

(1) Pfeffer, *Osmotische Untersuchungen*, ,1877, p. 83.

nique de ferrocyanure de cuivre (1), et comme liquides, de solutions titrées, de sucre de canne et de gomme arabique. « L'endosmose augmente un peu avec la température. » Je ne veux point ici suivre M. Pfeffer dans ses intéressantes expériences et les considérations théoriques qu'il y rattache ; je crois qu'au point où en est la physiologie végétale, ces recherches appartiennent plutôt au domaine de la physique qu'à celui de la physiologie proprement dite.

J'ai touché à tant d'écueils dans ces quelques séries d'expériences, que je ne puis même pas me flatter de les avoir toutes menées à bonne fin. L'observateur qui a essayé ses forces à l'étude de phénomènes aussi compliqués que celui-ci en comprendra facilement toutes les difficultés.

Désirant cette fois opérer uniquement sur des plantes entières, sans la moindre blessure et bien portantes, j'eus d'abord à lutter contre un phénomène inattendu que je puis désigner par le mot de *réplétion aqueuse*, sans vouloir toutefois créer un nom propre que je crois inutile.

2. *Réplétion aqueuse*. — Vu la fréquence et peut-être l'importance de cet accident, je crois devoir m'y arrêter un instant pour en citer quelques exemples.

Un rameau de Lierre (*Hedera Helix*), enraciné depuis quelques mois dans l'eau et maintenu dans une serre dont l'air humide était chauffé à une température de 17 à 30 degrés, a été mastiqué dans un petit cylindre communiquant avec un tube gradué qui servait à la lecture des absorptions, comme je l'ai exposé dans mon premier mémoire ; il a été transporté de la serre dans une petite salle éclairée par une fenêtre dont le store

(1) M. Traube place un petit cristal de ferrocyanure de potassium dans une solution de sulfate de cuivre. Le cristal s'entoure d'une couche ou d'une membrane brune de ferrocyanure de cuivre qui s'agrandit peu à peu, produit des excroissances de figure variée, etc. Cette membrane inorganique partage quelques-unes de ses propriétés avec la membrane cellulosienne, entre autres celle de s'accroître « par intussusception ». — Voy. *Bot. Zeit.*, 1877.

D'autres substances donnent lieu au même phénomène. Tels sont le silicate de cuivre, le tannate de gélatine, etc. Pour qu'il se forme une membrane, il faut avant tout que le précipité produit soit amorphe.

était baissé. Ainsi disposée, cette plante m'a servi à des expériences que j'aurai à rapporter plus loin. Le temps était presque constamment couvert, la température de l'air oscillait entre 10 et 15 degrés, l'hygromètre à cheveu marquait de 65 à 75 degrés. Huit jours environ après la nouvelle installation, la plante s'est refusée, pendant plusieurs jours, à absorber la moindre quantité d'eau. C'était le 20 mars. Le 27, le soleil s'est montré par intermittences, j'ai levé le store. Une pile thermo-électrique de Melloni, garnie de son réflecteur paraboloïde, était dressée à côté de la plante ; le galvanomètre, dont l'aiguille n'avait pas quitté le zéro durant les jours précédents, oscillait assez fortement, tout en se maintenant le plus longtemps entre 2 et 7 degrés.

Dans ces conditions, j'ai tout à coup pu observer une absorption très-vive. Voici les données exactes d'une des lectures :

Temp. de l'eau.	Temp. de l'air.	Hygromètre.	Galvanomètre.
9°,7 à 9°,65.	12 à 11 degrés.	66 à 67 degrés.	7 à 2 degrés.

Durée, 20 minutes. Absorption, 39 divisions; absorption par minute, 1,95.

C'était l'absorption ordinairement observée sur cette plante dans des conditions semblables, mais sans soleil, au début de cette série d'expériences.

Aussitôt que le soleil s'est couvert de nuages, l'absorption a cessé.

Quelques jours après, la plante avait une apparence maladive ; ses feuilles ont commencé à rougir et le point végétatif s'est arrêté dans son développement. Un mois après, les feuilles, tout à fait jaunes, sont tombées les unes après les autres, en se succédant de bas en haut.

Appuyé sur les travaux récents de MM. von Hoehnel et Boehm, je m'explique ce résultat de la manière suivante. Étant donnée la plante avec un corps ligneux renfermant de l'air à une pression inférieure à l'atmosphère, il peut arriver un moment où, la transpiration étant nulle, l'eau introduite dans la

plante par les racines augmente la pression de l'air contenu dans le bois et finit par l'égaler à l'atmosphère (1); alors l'effet de la transpiration précédente est absolument annulé, et l'eau, pénétrant par osmose ans les racines, rencontre une pression graduellement croissante qui finit par équilibrer la force osmotique. Un rayon de soleil vient-il à tomber sur une telle plante, aussitôt l'air de son bois est raréfié et l'osmose redevient possible. Cette expérience ne pourra réussir qu'avec des plantes qui ne possèdent aucune disposition pour l'écoulement de l'eau en excès, ou qui, trop âgées, ne la possèdent plus.

J'ai vu cet effet se produire avec une intensité étonnante, quoique j'eusse notablement élevé la température de l'eau servant de sol à la plante.

Les feuilles d'une bouture de Lierre dont les racines étaient mastiquées dans l'appareil de la planche 9 ont été introduites dans une cloche noircie dont l'air était saturé d'humidité. La température de l'eau a été élevée de 11°,7 à 22°,5. L'absorption n'a nullement augmenté pour cela; elle s'est ressentie de l'élévation de la température du sol, en donnant deux chiffres beaucoup moins élevés que les autres et situés en dehors de la courbe qui figure la décroissance régulière de l'absorption. Ces chiffres irréguliers sont dus à l'augmentation de la pression de l'air contenu dans la plante. L'appareil avait été construit d'après les principes énoncés plus loin.

(1) Cela n'est même pas nécessaire pour que l'absorption s'arrête; car, ainsi que le fait observer M. Boehm, l'eau du sol, pour pénétrer dans la plante, doit vaincre la résistance de filtration à travers les membranes cellulaires, qui, exprimée en pression, doit être retranchée de la différence entre la pression atmosphérique et celle de l'air contenu dans le bois.

TABLEAU N° 1.

Bouture de Lierre enracinée dans l'eau. — Les feuilles sont entourées d'une atmosphere humide et obscure. L'absorption diminue constamment, bien que la température de l'eau s'élève.

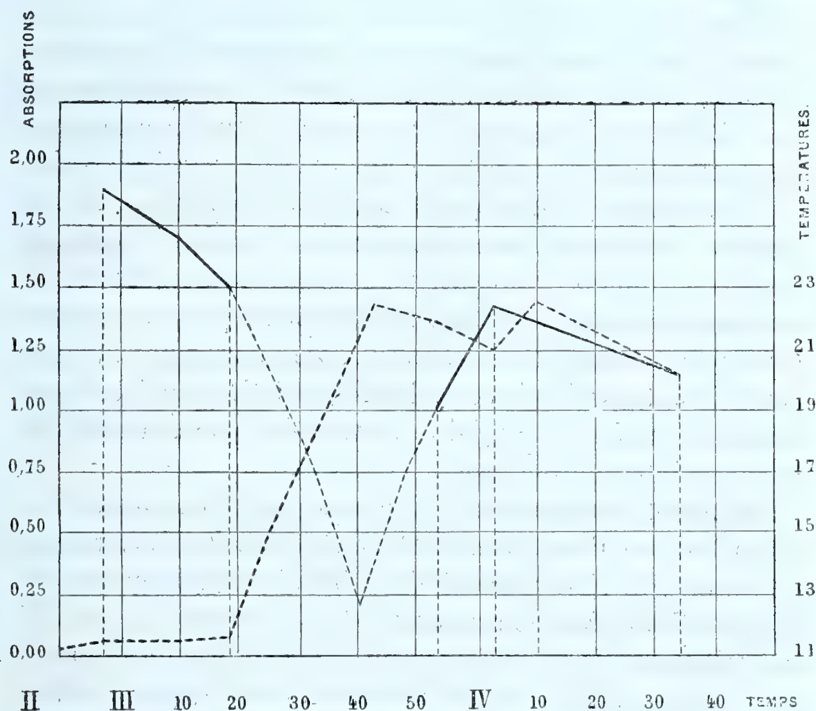
HEURES.	TEMPÉRATURE de l'eau.	TEMPÉRATURE de l'air.	NUMÉRO de la division	DIFFÉRENCE.	ABSORPTION par minute.
2 h. 49 m.	11°,2	12°	12,5		
57	11 ,5	12	27,5	15	1,88
3 h. 10 m.	11 ,5	12	49,5	22	1,69
18	11 ,7	12	61,5	12	1,50
3 h. 43 m.	22,5	12	34		
53	22	12	44	10	1,00
4 h. 2 m.	21	12	57	13	1,44
10	22,5	12	58	1	0,13
34	20	12	85	27	1,13

Ces chiffres indiquent nettement que la réplétion de la plante s'est opposée à l'augmentation de l'absorption. Pour plus de clarté, je les traduis en une courbe ayant pour abscisses les temps et pour ordonnées les absorptions. On voit sur cette courbe que les chiffres extraordinaires correspondent aux grands mouvements de la température ; ces effets irréguliers étant écartés, on reconnaît :

1° Que la réplétion s'est continuée, régulièrement malgré l'élévation de la température du sol, les deux tronçons de la courbe étant sensiblement parallèles.

2° Que l'élévation de la température a *relativement* augmenté l'absorption en déplaçant la courbe de réplétion parallèlement à elle-même. Sans doute elle a donné à l'absorption une énergie telle, que l'équilibre entre la pression de l'air de la plante et la force osmotique, un instant rompu, s'est vite rétabli par la compression de l'air, et dès ce moment les absorptions ont repris leur marche descendante.

Il est à peine nécessaire de faire remarquer que l'augmentation peut réellement devenir absolue dans des expériences analogues ; cela dépend en partie de la taille de la plante et de l'état de vacuité (en liquide) où elle se trouve primitivement.



La courbe est nécessairement interrompue pendant le changement de température du sol. La courbe ponctuée indique la marche de cette température.

Pour étudier l'absorption de l'eau, il est donc indispensable de ne pas annihiler la transpiration, au moins dans une partie des expériences. Dans aucun cas la plante entourée d'une atmosphère saturée et abritée contre les rayonnements lumineux et calorifiques ne pourra donner de bons résultats : si elle est restée pendant longtemps dans ces conditions, elle n'absorbe plus ; si l'effet de la transpiration antérieure se fait encore sentir, on obtient des absorptions décroissantes.

Il est certain qu'on obtiendrait les résultats les plus nets en opérant sur les racines seules, toute la tige avec les feuilles étant enlevées. J'ai voulu m'en tenir pour le moment à la plante intacte, me proposant de compléter encore mes expériences sur les racines coupées.

3. — Quel que soit le procédé que j'emploie, un seul chiffre absorbé sera exact, tous les autres seront trop faibles ou trop forts. Le chiffre exact sera obtenu quand la transpiration sera égale à l'absorption, quand l'eau absorbée suffira exactement pour remplacer celle que la plante a perdue par évaporation.

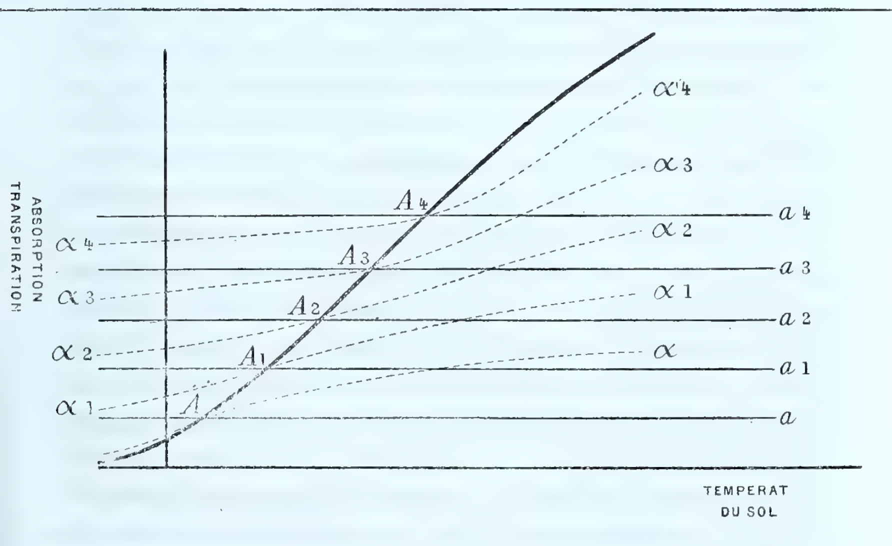
L'absorption, je l'ai déjà dit, peut être décomposée en deux parties : l'absorption pure et simple, osmotique, à laquelle s'ajoute celle qui est provoquée par la transpiration ; les deux ne font naturellement qu'un tout et ne diffèrent que par les causes qui les font naître. L'absorption propre aux racines indépendante de la transpiration est très-faible relativement à celle que motive la succion, mais j'ai le pouvoir de donner à cette dernière une intensité voulue fixe.

Cela étant, examinons ce qui se passe quand on augmente ou qu'on diminue l'osmose en élevant ou en abaissant la température du sol. Nous partons du point où la transpiration est égale à l'absorption, le seul exact et vrai de toute la série. Si nous abaissons la température du sol, l'absorption diminue, mais la transpiration restant la même et l'eau évaporée n'étant pas dans la même mesure remplacée par celle venant des racines, l'atmosphère de la plante se raréfie, la succion devient plus forte ; par conséquent l'absorption est augmentée, et l'on ne reconnaît plus l'effet pur de la température du sol.

L'inverse arrive lorsqu'on chauffe le sol : l'absorption augmente ; la transpiration restant la même, la pression de l'air de la plante augmente, la succion diminue, et l'absorption est moins forte qu'elle ne devrait être. Représentons-nous les absorptions figurées par une courbe dont les abscisses sont les températures du sol, et prenons comme point de départ de cette courbe le point même où l'absorption est égale à la transpiration.

La construction d'une pareille courbe ne serait pas une chose absolument irréalisable; la transpiration étant constante, elle pourrait être représentée comme dans la figure ci-dessous, par une ligne horizontale dont la distance à l'axe des X en représente l'intensité. Celle-ci pourrait être déterminée aisément par quelques pesées. La courbe des absorptions serait obtenue par l'observation : c'est une courbe ascendante qui coupe quelque part la ligne horizontale des transpirations. L'intersection de ces deux lignes est notre point de départ.

A gauche de ce point, les ordonnées sont trop élevées; à droite, elles sont trop basses ; en somme, la courbe est trop déprimée.



Théoriquement, on pourrait même imaginer de cette manière un procédé pour déterminer sur une plante intacte la courbe des absorptions en fonction de la température du sol et indépendante de la transpiration.

La plante est exposée, dans une chambre noire, au rayonnement d'un ou de plusieurs becs de gaz, ainsi que je le décrirai plus en détail quand je parlerai de mes expériences; ses feuilles

sont maintenues en même temps dans une atmosphère saturée. Je suppose qu'avec une certaine disposition des sources de chaleur, la transpiration, uniforme quelle que soit la température du sol, soit de 50 milligrammes par heure, nous pourrons la représenter par la ligne horizontale a_4.

Si nous étudions ensuite l'absorption aux différentes températures du sol, la transpiration restant la même, nous obtiendrons une courbe telle que α_4 α_4, qui pourra couper (si la transpiration n'a pas été trop forte) la ligne a_4 en un point A_4 où l'absorption égale la transpiration. La source calorifique étant un peu éloignée, la ligne des transpirations sera a_3, et pour les absorptions on obtiendra une courbe α_3 α_3 moins plate que la précédente, qui coupera l'horizontale en A_3. De la même manière on trouvera les points A_2, A_1, A.

La courbe qui relie ces différents points exprime les absorptions réelles en fonction de la température du sol. Je me hâte d'ajouter que, selon moi, ce projet est pour le moment irréalisable non-seulement par sa complication et les difficultés matérielles dont il est hérissé, mais surtout à cause de l'inconstance et de l'irrégularité même des fonctions de la plante pendant un temps assez long pour permettre l'exécution d'un si grand nombre d'expériences. Je ne me serais pas arrêté aussi longtemps à cette théorie qui ressemble à un simple jeu de l'esprit, si je n'y voyais le meilleur moyen de bien faire comprendre au lecteur les idées auxquelles m'ont conduit un très-grand nombre d'expériences.

Après ce long préambule je puis enfin exposer les tentatives heureuses et malheureuses que j'ai faites pour résoudre le difficile problème que je m'étais proposé.

Je me hâte de déclarer que je suis loin d'être satisfait de mes résultats. Bien des points sont encore obscurs, et précisément des plus intéressants, comme par exemple l'absorption aux températures élevées (30° à 40°). C'est parce que je ne prévois pas que je puisse faire mieux dans un avenir prochain et parce que j'aurai besoin de m'appuyer dans un autre travail sur les résultats présents, que je me suis décidé à publier ces premières

contributions à une question que personne jusqu'à présent n'avait osé aborder.

II

DESCRIPTION DES PROCÉDÉS ET DES APPAREILS EMPLOYÉS.

N'arrivant très-souvent qu'à des résultats obscurs ou douteux, je me suis adressé pendant le cours de ces recherches à une foule de procédés divers reposant, les uns sur des pesées, les autres sur la mesure en volume de l'eau absorbée. Quelques-uns des appareils que j'ai combinés ont dû être rejetés complétement. Cependant j'en décrirai au moins le principe pour épargner à d'autres physiologistes le temps précieux qu'ils consacreraient peut-être aux mêmes tâtonnements infructueux auxquels je me suis successivement livré.

1. — Les absorptions sont pesées.

Je me suis servi d'une balance sans cage de Becker et fils de Rotterdam, pesant cinq milligr. Dans un des plateaux je place un verre de Bohême de 6 centimètres de haut rempli d'eau. La plante pourvue de racines développées dans l'eau, est attachée à un thermomètre qui lui sert de soutien et dont la boule occupe à peu près le centre du système radiculaire. Les petites radicelles flottantes sont réunies en un petit faisceau à l'aide d'un fil lâchement noué. Un support à pince tient le thermomètre et la plante dans une position verticale ou un peu oblique, de manière que les racines plongent entièrement dans l'eau sans toucher ni au fond ni aux parois du vase.

Enfin je verse sur l'eau une couche d'huile d'olive destinée à empêcher l'évaporation directe. Le contact de l'huile n'est pas nuisible, comme on pourrait le croire, même à la tige herbacée d'un Haricot (*Phaseolus*).

J'ai maintenu une de ces plantes pendant plus de trois semaines dans ces conditions sans qu'elle eût l'air de souffrir, bien

qu'une des feuilles primordiales portât une large tache d'huile que je lui ai faite maladroitement en renouvelant l'eau. Au bout de ce temps ses racines ont commencé à noircir, mais les organes aériens étaient encore dans un état satisfaisant quinze jours après.

L'équilibre étant établi, j'ajoute à côté du vase un poids de 20 ou de 30 milligrammes. La plante absorbe de l'eau, l'équilibre se rétablit, et je marque le temps, qui s'est écoulé depuis le commencement de l'expérience jusqu'à la fin. Je suis de loin la marche de l'aiguille à l'aide d'une lunette, pour éviter d'imprimer des oscillations à la balance.

Comme les lectures ne se font que lorsque l'aiguille est au zéro, la cause d'erreur qui résulterait du changement du volume d'eau déplacée disparaît à peu près complétement; je dis à peu près, parce qu'il peut se produire quelque changement imperceptible dans la forme de la surface.

Ce procédé donne d'excellents résultats quand on veut opérer à des températures ordinaires et à des intervalles assez éloignés; mais les expériences sont très-longues. Pour changer la température de l'eau, il faut changer celle de la salle où l'on opère, et, dans ce cas, les feuilles ne transpirent plus de la même façon et les expériences ne sont plus comparables.

Il a donc fallu trouver un système de chauffage ne pesant que très-peu, ne changeant pas de poids, et permettant de chauffer l'eau sans modifier la température de l'air.

Le moyen le plus simple consiste à fixer près de la balance un tube de verre ou de métal replié de manière qu'une anse de ce tube plonge dans l'eau sans toucher aux parois du vase.

Il suffit ensuite de faire couler dans ce tube de l'eau chaude et de régler le courant à l'aide d'un robinet, pour obtenir une température quelconque.

Quelques essais m'ont bien vite persuadé qu'il fallait renoncer à ce mode de chauffage à cause de la dilatation du tube et du dépôt de petites bulles d'air sur le verre ou le métal, bulles qui pouvaient être considérées comme faisant corps avec le tube et qui augmentaient le poids du plateau du poids de l'eau

qu'elles déplaçaient. L'erreur est très-considérable. Ainsi, avec un tube de verre, on voit le plateau s'abaisser aussitôt que l'eau chaude circule, et pour une température de 30 à 40 degrés, il a fallu 150 milligrammes pour rétablir l'équilibre.

Cependant on pourrait se servir de ce procédé en réglant parfaitement le courant d'eau chaude pour la température qu'on veut produire, et en ne commençant l'expérience que quand l'équilibre de température est obtenu.

Pour le but que je me suis proposé et avec les moyens dont je disposais, il eût fallu un temps trop long, et il m'eût été impossible de conserver au même degré les conditions atmosphériques du laboratoire.

J'ai essayé de chauffer l'eau en y plongeant une spirale de fil de platine dans laquelle je faisais circuler un courant électrique. J'ai obtenu de cette manière une élévation de température insuffisante de 3 ou 4 degrés.

Le courant induit d'une petite bobine de Ruhmkorff que je faisais passer dans l'eau entre deux pôles métalliques me donnait encore de moins bons résultats.

2. — Les absorptions sont mesurées.

Le système radiculaire d'une plante est hermétiquement mastiqué dans un petit cylindre de verre, comme je l'ai décrit dans mon précédent mémoire. J'ai présenté le dispositif d'une de ces expériences dans la planche 9. *a* est l'extrémité élargie d'un tube à entonnoir qui sert de réservoir aux racines de la plante; le bouchon porte, outre la plante, un thermomètre gradué au dixième de degré qui indique la température de l'eau qui entoure les racines. Pour diminuer autant que possible le volume de l'eau et pour éviter en même temps les bouchons, toujours peu sûrs, j'ai donné à mon appareil la forme que je figure. Le tube *b*, fermé par un robinet de cristal, sert à introduire dans le cylindre *a* l'eau venant d'un flacon *d*. Le tube *c*, dont le diamètre intérieur est très-fin, est jaugé et sert à mesurer la vitesse de l'absorption. Tout cet appareil plonge

dans une cloche renversée de la capacité de 2 à 3 litres, remplie d'eau : le robinet *e* qui ferme la douille de la cloche permet de remplacer l'eau froide par de l'eau chauffée à une température plus élevée.

Théoriquement, pour faire de bonnes expériences, il suffira de conserver la même température dans le tube *a* pendant un temps assez long pour permettre une série de lectures.

Il m'a été impossible d'atteindre à cet idéal. Il a donc fallu trouver une combinaison qui me dispensât d'une opération aussi délicate. Je me suis arrêté aux deux procédés suivants :

1° Le cylindre A est considéré comme la boule d'un thermomètre dont le tube *c* est la tige. Ce thermomètre rempli est gradué en dixièmes de degré. La graduation se fait assez facilement quand le bouchon ne porte que le thermomètre *d*. Il suffit d'élever la température de l'eau, en observant le thermomètre et en marquant les places du ménisque d'eau dans le tube *c*. Il est évident que ce procédé ne sera rigoureux qu'en supposant que les racines des plantes ont le même coefficient de dilatation que l'eau, ce qui n'est probablement pas le cas. On peut aussi graduer le thermomètre pendant que la plante est déjà enfermée dans le tube A; mais alors il faut que les changements de température se fassent assez rapidement pour que la plante n'ait pas le temps d'absorber une quantité appréciable d'eau, ce qui, vu la lenteur des mouvements du calorique au sein de l'eau, est toujours difficile et incertain. Aussi le premier procédé, malgré ses imperfections, doit être préféré au second.

L'appareil étant ainsi gradué, j'adopte la longueur d'un dixième de degré comme unité de volume, et il sera toujours facile de tenir compte des dilatations de l'eau du tube *a*. Un exemple suffira pour bien faire comprendre ma pensée. Supposons que la température initiale soit de 15 degrés : je veux observer l'absorption pendant l'élévation de température de 15 à 20 degrés ; pendant l'opération le ménisque s'avance de *a* en *c* de 30 divisions, par exemple.

La dilatation seule doit le faire avancer de $5 \times 10 = 50$ divisions; l'absorption a donc été de $50 - 30 = 20$ divisions.

2° On conçoit aisément l'imperfection d'une telle méthode : de quelque manière qu'on effectue la graduation du tube *c*, on n'est jamais très-sûr du résultat; non-seulement la dilatation de la plante n'est pas la même que celle de l'eau, mais elle doit même varier d'un moment à l'autre avec la pression des gaz qu'elle renferme.

Dans le plus grand nombre de mes expériences, j'ai eu recours à un petit artifice qui me dispensait à la fois d'une graduation aussi compliquée et du maintien rigoureux de la température. Pour fixer les idées, supposons qu'il s'agit de déterminer l'absorption à la température de 25 degrés environ, la température du laboratoire étant de 15 degrés. Je chauffe l'eau de la cloche A en y versant peu à peu de l'eau chaude. Lorsque le thermomètre *d* marque 25°, je m'arrête, je lis la place du ménisque dans le tube *c*, et je note l'heure. La température du cylindre *a* augmente encore un peu, et le thermomètre marquera, par exemple, au bout d'un certain temps, la température maxima de 27°. Jusque-là la marche du ménisque ne peut pas donner l'indication précise, elle dépend à la fois de la dilatation de l'eau et de l'absorption ; mais à partir de ce moment, la température descend et arrive, au bout de quelque temps, à 25° ; alors je lis la place du ménisque, je marque l'heure, et l'effet de la dilatation se trouve éliminé. J'obtiens ainsi l'absorption à la température de 25° à 27°. Il est indispensable, comme nous le verrons bientôt, d'opérer très-lentement pour permettre aux gaz de la plante de se mouvoir dans les espaces aériens, sans prendre dans les racines une pression *locale* qui ne serait pas sans influence sur l'absorption.

3. — Appareil enregistreur.

Plusieurs appareils destinés à enregistrer l'eau absorbée ont été imaginés et décrits, mais aucun ne m'a semblé réunir

les qualités nécessaires de stabilité et de sensibilité pour des recherches aussi délicates que celles dont je m'occupe.

Le premier reproche s'adresse aux instruments décrits par M. Eder (1) et à d'autres analogues.

Le second s'applique aux gros appareils construits dans un autre but, mais qui pourraient théoriquement s'appliquer à l'absorption. Ces instruments sont excellents sans doute pour les observations météorologiques, qui ne demandent que des poids relativement forts. Mais, dans les recherches de physiologie, les poids qu'on obtient sont trop faibles pour qu'une pareille balance puisse les accuser.

Tels sont l'évaporomètre de M. Ragona (2) et la bascule à équilibre constant de M. Rédier, dont M. Grandeau se sert pour comparer l'évaporation d'un sol nu avec celle d'un sol gazonné, etc., appareil qui pourra sans doute s'appliquer à une foule d'expériences qui n'exigent pas une grande sensibilité.

J'ai imaginé un enregistreur très-simple en principe, qui répond parfaitement à toutes les exigences pour autant que je puis en juger d'après le petit nombre d'expériences que j'ai eu le temps de faire. Cet instrument, construit ici avec beaucoup de talent par MM. Hempel et C[ie], est représenté planche 10. La figure B reproduit en grandeur naturelle l'une des parties principales.

Le principe est celui-ci. Dans l'un des plateaux d'une balance très-sensible se trouve un petit verre *b* contenant de l'eau recouverte d'huile. Une plante mastiquée dans un cylindre fixe puise son eau dans ce verre à l'aide d'un tube capillaire deux fois recourbé. Le poids de ce plateau diminue et le plateau *c* s'abaisse; une petite pointe de platine fixée au-dessous de ce plateau touche le mercure contenu dans un petit godet

(1) Eder, *Untersuchungen über die Ausscheidung von Wasserdampf bei den Pflanzen.* (*Sitzungsb. d. K. Akad. der Wissensch. Wien*, 1876, p. 346.)

(2) Voyez Gaston Tissandier, *Évaporomètre enregistreur de M. Ragona* (*la Nature*, 1877, 2e semestre, p. 224).

de fer (caché dans la figure sous le plateau *c*), et établit un courant électrique qui passe dans l'électro-aimant *x*. La pièce *f* est attirée et rend libre le mouvement rotatoire de la tige du robinet *s*, sollicitée par un mouvement d'horlogerie. Ce robinet (fig. B) est imperforé et porte seulement sur les deux côtés opposés deux dépressions coniques d'égale capacité. Le petit vase *t* étant rempli de mercure, chaque demi-tour du robinet déverse dans le verre *a* une petite quantité de mercure toujours la même et égale, dans mon appareil, à 9 centigrammes. En même temps que ce demi-tour s'effectue, le crayon *p* s'abaisse et marque un point sur un disque tournant *v*.

Pour bien faire comprendre le mécanisme, en apparence compliqué, je décompose ma description en plusieurs articles :

A. La balance ;
B. L'établissement du courant électrique ;
C. Le demi-tour du robinet *s* ;
D. Le mécanisme du crayon *p*.

A. La balance est fixée sur un socle de bois. L'un de ses plateaux porte deux petits verres de Bohême, dont l'un, *a*, reçoit les gouttelettes de mercure qui tombent, l'autre, *b*, renferme de l'eau destinée à être absorbée par la plante. L'eau est recouverte d'une couche d'huile qui en empêche l'évaporation directe.

Le plateau *c* porte en son milieu et à sa face inférieure une petite pointe de platine qui plonge dans un godet rempli de mercure, lorsque le fléau de la balance est arrivé à une certaine inclinaison.

B. L'une des électrodes d'une pile est fixée dans la borne *d*, qui est en communication, au-dessous du socle, avec la colonne C de la balance ; de là le courant passe par le couteau dans le fléau et dans le plateau *c*. Lorsque la pointe de platine plonge, il arrive par la borne *e* dans l'électro-aimant *x*, et retourne à la pile.

C. La tige du robinet *s* est fixée à l'aide d'une goupille *v* (fig. *b*) à la tige *lq*, soutenue par trois supports, et qui porte

une roue dentée *u*, entraînée par le mouvement d'horlogerie situé au-dessus, et une roue *j* entaillée en deux points opposés.

Le ressort à boudin *q* tend à enfoncer constamment la tige dans le robinet.

L'extrémité verticale du levier coudé *hj*, oscillant autour de l'axe *w*, est terminée par une petite roulette qui court sur le bord de la roue *j*, jusqu'à ce que l'une des entailles se présente; alors le levier s'abaisse, grâce à la traction exercée à l'autre extrémité par le ressort *ih* ; une petite tige verticale appuyée sur le coude du levier s'abaisse en même temps et fait tomber le petit cliquet *k* qui arrête le mouvement d'horlogerie. Quand le courant électrique passe dans l'électro-aimant, la pièce *f*, mobile autour du point *g*, est attirée, elle entraîne à l'aide d'un fil de soie *fh* le bras horizontal du levier; le cliquet *k* s'élève, le mouvement devient libre et fait faire un demi-tour à la tige *ls*, jusqu'au moment où l'autre entaille de la roue *j* se présente au levier. Une goutte de mercure de 9 centigr. est ainsi versée dans le verre *a*; le plateau *c* de la balance s'élève et la communication électrique est rompue. On conçoit sans peine que le robinet doit être construit avec un soin extrême, non-seulement pour que les deux cavités soient égales, mais aussi pour que l'air remplace facilement le mercure dans les cavités, et réciproquement. Ce n'est qu'après de patients tâtonnements que M. Hempel y est arrivé; il faut dire à son éloge que le résultat a dépassé de beaucoup mon attente.

D. L'extrémité *l* de la tige du robinet porte une came qui appuie à chaque demi-tour sur le levier MN mobile autour du point M; le levier fait à son tour descendre la pointe P, qui marque un petit trou dans le disque V, et remonte ensuite par la pression d'un ressort à boudin.

Je me suis servi, pour imprimer à ce disque une rotation régulière (un tour en 48 heures), d'un héliostat de Hartnack et Prazmowski, sur lequel on a adapté à la place du miroir un disque très-léger de caoutchouc durci. Sur ce disque il suffit

d'appliquer une feuille de papier épais, mais un peu spongieux, pour qu'il ne retienne point la pointe *p*.

III

EXPÉRIENCES.

Les principaux résultats auxquels mes expériences m'ont conduit peuvent s'énoncer comme il suit :

1° Dans aucun cas, on ne peut pratiquement séparer, dans une plante intacte, l'absorption de la transpiration. Aussitôt que l'absorption dépasse la transpiration, elle diminue et se règle probablement sur cette dernière ; lorsque la transpiration est supprimée, l'absorption tombe graduellement et finit par s'arrêter. La raison de ce phénomène réside sans doute dans la manière dont se comporte l'atmosphère intérieure de la plante. La transpiration cessant de faire le vide, il vient un moment où la pression atmosphérique, *plus* la poussée des racines, est incapable de vaincre la tension de l'air intérieur et la résistance de filtration.

2° Quand on élève rapidement la température du sol, l'absorption diminue par suite de l'augmentation de la pression de l'air contenu dans le bois. Pour la même raison, l'absorption augmente quand on abaisse rapidement la température du sol.

3° Chaque température du sol étant considérée comme constante, l'absorption augmente avec la température, sauf peut-être pour les températures élevées, où la question n'a pu être complétement élucidée.

4° La température du sol a beaucoup moins d'influence sur l'absorption que celle de l'air (par l'intermédiaire de la transpiration) pris dans les conditions ordinaires d'humidité. A plus forte raison, elle n'est que peu de chose lorsque la plante, végétant à l'air libre, est exposée aux brûlants rayons du soleil.

Je place mes conclusions en tête du chapitre, parce qu'il m'eût été difficile de disposer mes expériences de telle façon

que les différentes propositions fussent démontrées séparément.

1re EXPÉRIENCE. — Une bouture de Lierre a pris racine dans l'eau que contient un petit tube de verre en communication avec un robinet et un tube capillaire horizontal (pl. 9). Ce tube est entouré d'une masse assez considérable d'eau, dont on élève la température en y ajoutant de l'eau chaude. Le tube qui renferme les racines avec le tube capillaire est gradué, comme je l'ai dit plus haut, en dixièmes de degré, et le volume d'eau qui correspond à l'une de ces divisions est considéré comme unité.

Après chaque lecture il y a donc à faire une correction, qui consiste à ajouter à l'absorption le nombre de dixièmes de degré dont la température s'est élevée, et à en retrancher celui dont elle s'est abaissée.

Le système aérien de la plante était enfermé dans une allonge dont l'air était à peu près sec, grâce à plusieurs vases chargés de chlorure de calcium.

C'était évidemment là le plus grand défaut de cette expérience ; le moindre changement de la température de l'air devait agir très-puissamment sur la transpiration, et de là sur l'absorption.

TABLEAU N° 2.

L'absorption dépend de la température du sol, les feuilles étant dans l'air sec.

HEURES.	TEMPÉRATURE de l'air.	TEMPÉRATURE de l'air.	NUMÉRO de la division.	DIFFÉRENCE. Divisions.	APRÈS CORRECTION. Divisions.	DURÉE. Minutes.	ABSORPTION par minute. Divisions.
	°	°					
2 h. 19 m.	17,4	16,1	0				
22	17,4	16,1	5	5	5	3	1,67
28	17,3	16,1	15	10	10	6	1,67
35	17,25	16,2	26	11	11 + 1 = 12	7	1,71
42	17,2	16,2	37	11	11	7	1,59
48	17,2	16,2	46	9		6	1,50
59	17,2	16,2	62	16	17	11	1,45
3 h. 4 m.	17,2	16,2	69	7	7	6	1,40
3 h. 14 m.	17,2	25,8	21				
17	17,2	25,4	28	7	7 — 4 = 3	3	1
20	17,2	25,2	36	8	8 — 2 = 6	3	2
21	17,2	25,15	38,5	2,5	2,5 — 0,5 = 2	1	2
22	17,2	25,1	41,5	3	3 — 0,5 = 2,5	1	2,5
28	17,25	24,8	56,5	15	15 — 3 = 12	6	2
36	17,3	24,2	75	18,5	18,5 — 6 = 12,5	8	1,56
41	17,3	23,9	83	8	8 — 3 = 5	5	1
43	17,3	23,8	87	4	4 — 1 = 3	2	1,5
47	17,3	23,5	94	7	7 — 3 = 4	4	1
57	17,4	23	106,5	12,5	12,5 — 5 = 7,5	10	0,75
4 h. 3 m.	17,5	22,8	115	8,5	8,5 — 2 = 6,5	6	1,08
10	17,5	22,4	122	7	7 — 4 = 3	7	0,43

En passant de la première partie de cette expérience à la deuxième, j'ai eu le bonheur de conserver au même point la température de l'air tout en élevant celle du sol de 16°,2 à 25°,8. L'effet de ce changement doit donc être très-pur. Malgré l'intervalle de dix minutes qui s'est écoulé pendant le changement de température, l'absorption, au lieu d'être augmentée, se trouve affaiblie de 1,40 à 1,0; mais elle augmente immédiatement après. Les élévations de la température du sol occasionnent donc, comme celles de l'air, une diminution momentanée

de l'absorption, sans doute à cause de l'augmentation de la pression des gaz renfermés dans la plante.

Une partie de l'accélération de l'absorption observée entre 3 h. 17 m. et 3 h. 36 m. doit être attribuée à l'abaissement lent de la température du sol. L'effet retardateur ou accélérateur des changements de la température du sol est pourtant bien plus faible que celui des changements de la température de l'air sur les organes aériens. Aussi, grâce à l'élévation progressive de la température de l'air de 17°,2 à 17°,5, l'absorption va sans cesse en diminuant et devient bien vite inférieure à ce qu'elle était dans la première partie de l'expérience. Dans ces conditions, il n'y avait aucun intérêt à continuer cet essai, qui se réduisait ainsi à la confirmation des résultats de mon mémoire antérieur. Malgré la complication du phénomène, il est facile de voir, en s'appuyant sur les effets connus de la température de l'air :

1° Que l'absorption de l'eau par les racines dépend de la température du sol

2° Que cette température agit différemment selon qu'on la considère comme invariable ou comme changeante.

3° Que chaque température étant prise comme invariable, l'absorption augmente avec la température du sol.

4° Que pendant les changements rapides de la température du sol, l'absorption diminue quand la température s'élève, et qu'elle augmente quand la température s'abaisse.

5° Que la température du sol agit avec bien moins d'intensité que celle de l'air.

Un très-faible changement de la température de l'air sec qui entoure les feuilles masque complétement l'effet d'une élévation notable de la température du sol. Dans l'expérience dont il s'agit, l'élévation progressive de la température de l'air de 17°,2 à 17°,5 a suffi pour réduire l'absorption à 24 degrés au-dessous de ce qu'elle avait été à 16 degrés.

Ce même fait ressort très-nettement de la petite expérience suivante.

2e EXPÉRIENCE. — *Lierre enraciné dans l'eau.* — Les feuilles baignent dans l'air sec à l'obscurité. Les expériences sont faites

à de longs intervalles, de sorte que c'est moins le changement de température que son degré d'élévation qui entre en ligne de compte.

Dans la première partie de l'expérience, la température de l'eau est d'environ 14°,7, celle de l'air de 17°,5. On élève maintenant la température de l'eau et l'on abaisse celle de l'air, de manière que l'absorption reste la même. J'ai obtenu approximativement ce résultat en élevant la température de l'eau d'environ 6 degrés et en abaissant de 3 degrés celle de l'air. Il va sans dire que l'expérience a été faite à des températures moyennes ordinaires.

Voici les chiffres :

TABLEAU N° 3.

Air sec, obscurité. L'élévation de 6° de la température du sol contre-balance à peine un abaissement de 3° de la température de l'air.

HEURES.	TEMPÉRATURE de l'eau.	TEMPÉRATURE de l'air.		NUMÉRO de la division.	DIFFÉRENCE.	ABSORPTION par minute.
		Thermometre ordinaire.	Thermometre a boule noircie.			
	°	°	°			
2 h. 51 m.	14,5	18	18	37		
59	14,7	17,5	17,8	52,5	15,5	1 94
3 h. 11 m.	14,7	16,6	17,0	75	22,5	1,88
19	14,7			88	13	1,63
				Moyenne. . . .		1,82
3 h. 44 m.	21,4	15,0	15,5	77 5		
54	20,6	15,0	15,3	94,5	17,0	1,70
4 h. 3 m.	19,9	14,8	15,2	112 5	17,5	1,94
17	21,0	14,5	15,0	124,5	12,5	0,89
40	18,8	14	14,5	160	35,5	1,54
				Moyenne. . . .		1,52
		Moyenne sans le chiffre 0,89.				1,73

3e EXPÉRIENCE. — *Influence de la température du sol dans le voisinage de la température ordinaire* (15°). — On observe d'abord à la température élevée.

Les feuilles du Lierre baignent librement dans l'atmosphère du laboratoire. L'expérience a été faite la nuit ; la plante n'était éclairée que par un simple bec papillon, placé à la distance d'environ 1^{m},50.

L'appareil qui a servi à cette expérience était semblable à celui qui est figuré pl. 9 ; mais il n'avait aucune disposition pour la correction de la dilatation de l'eau. Pour cette raison, je n'ai tenu compte que des expériences où la température de l'eau est restée rigoureusement la même.

Les résultats les plus sûrs sont contenus dans les données suivantes :

Tableau n° 4.

Lierre enraciné dans l'eau. — Air libre du laboratoire ; plante éclairée par un bec de gaz.

Heures.	Durée en minutes.	Température de l'air.	Température de l'eau.	Numéro de la division.	Différence.	Absorption par demi-heure.
12 h. 32 m. 2 h. 45	133	18°,0 17,0	16°,4 16,4	31 75	44	9,9
1 h. 10 m. 57	47	18,0 17,0	16,55 16,55	44 60	16	10,2
La température de l'air étant la même, celle du sol changeant peu.						
1 h. 57 m. 2 h. 45	48	17,0 17,0	16,55 16,4	60 75	15	9,4
5 h. 49 m. 6 h. 6	17	17,0 17,0	13,8 13,8	136 140,1	4,1	7,2

4e expérience. — *Détermination de l'absorption aux basses températures.*

Je me suis servi de l'appareil de la pl. 9 ; mais les feuilles, au lieu d'être enfermées dans une enceinte saturée de vapeur d'eau, baignaient directement dans l'atmosphère libre du labo-

ratoire; j'observais les mouvements de l'état hygrométrique à l'aide d'un hygromètre à cheveu. La plante était disposée devant une fenêtre dont les stores étaient baissés.

Les expériences ont été commencées à la température ordinaire, et ensuite j'ai ajouté à l'eau de petites quantités de glace.

Sauf quelques exceptions, j'ai observé l'absorption dans des intervalles assez longs pour que l'effet des changements de la température fût effacé.

1[re] *observation.*

Lumière diffuse faible.
Température de l'eau des racines, 10°,6 à 10°,65.
Température de l'air, 11°,6.
Hygromètre, 75°,5 à 76°.
Durée de l'expérience, de 2 h. 3 min. à 4 h. 35 min. = 32 minutes
Absorption : 5,3 divisions.
— 0,166 id. par minute.

2[e] *observation.* — J'ajoute une petite quantité de glace à l'eau de la cloche ; la température de l'eau des racines descend, et je commence à observer quand le thermomètre marque 8°,1. La température continue de s'abaisser ; elle atteint 7°,85, puis elle remonte, et j'arrête l'expérience quand elle est de nouveau égale à 8°,1.

Température de l'eau, 7°,85 à 8°,1.
Température de l'air, 11°,6.
Hygromètre, 75°,5.
Durée de l'expérience 40 minutes.
Absorption : 6,4 divisions.
— 0,160 id. par minute.

3[e] à 6[e] *observation.* — Le lendemain, j'ai obtenu des chiffres moins élevés dans des conditions très-peu différentes des précédentes. Le temps était clair, mais le soleil un peu voilé par des nuages blancs ; le laboratoire ne recevait pas directement les rayons solaires. J'ai disposé à côté de la plante une pile de Melloni dirigée vers la partie la plus éclairée du ciel.

Quatre observations ont été faites dans les mêmes conditions. J'ai obtenu les moyennes suivantes :

Température de l'eau, 10°,7.
Température de l'air, 11°,2 dans les trois premières observations, 12°,1 dans la quatrième.
Hygromètre, 74 à 75.
Le galvanomètre oscillait entre 0° et 1°,75.

Absorption moyenne par minute, 0,114 div.

Ces expériences ont duré de 9 h. 14 m. du matin à 1 h. 24 m. de l'après-midi.

J'ai ensuite refroidi l'eau des racines, et j'ai pu reprendre les observations à 2 h. 3 m.

Pendant que la température descendait, j'ai saisi au hasard quelques points en notant la température, l'heure, la place du ménisque, etc.; pendant qu'elle remontait, je marquais les mêmes données quand la température de l'eau était la même; de cette manière j'ai obtenu une série d'observations pour ainsi dire emboîtées les unes dans les autres.

Voici les chiffres :

Tableau n° 5.

Absorption de l'eau aux basses températures. — Lierre enraciné dans l'eau.

Heures.	Température de l'eau.	Température de l'air.	Hygromètre.	Galvanomètre.	Numéro de la division.	VII° observation.	VIII° observation.	IX° observation.	X° observation
	°	°	°						
2 h. 3 m.	2,0	12,2	73,5	1	44				
5	1,0								
19	0,55	12,2			47,7	0,115 par minute			
	0,50							0,079 par minute	
32	0,55	12,2	73,5		49,2				
55	0,85	12,0	73,5		51,2		0,062 par minute		
3 h. 44 m.	0,85	12,0	74	0	54,25				
4 h. 4	2,0	12,2	73,5	0	53,6				
Le lendemain :									
3 h. 6 m.	0,5	12,0	74		52				0,066 par minute
24	0,5	12,0	74		53,2				

La température de l'air, l'état hygrométrique, le rayonnement solaire ayant très-peu varié, nous pouvons donc tirer de ces observations les conclusions suivantes :

7e *observation.*

Température de l'eau, 2 degrés.
Durée de l'expérience, 122 minutes.
Absorption : 0,079 par minute.

8e *observation.*

Température de l'eau, 0°,55.
Durée de l'expérience, 13 minutes.
Absorption : 0°,115 par minute.

Chiffre très-élevé par suite de l'abaissement très-rapide de la température.

9e *observation.*

Température de l'eau, 0°,85.
Durée de l'expérience, 49 minutes.
Absorption : 0°,062 par minute.

10e *observation.*

Température de l'eau, 0°,5.
Durée de l'expérience, 18 minutes.
Absorption, 0,066 par minute.

Cette série d'observations indique avec la plus grande netteté que l'absorption diminue avec la température du sol ; mais, cette influence étant beaucoup plus faible que celle de la transpiration et par conséquent de tous les agents dont celle-ci dépend, il n'a pas été possible de tracer une courbe qui représentât exactement les relations entre l'absorption de l'eau et la température du sol. Je n'ai pas fait d'expérience au-dessous de 0 degré. On voit cependant qu'à des températures très-voisines de zéro, l'absorption est loin d'être nulle, surtout quand la plante transpire. J'ai démontré que, quand

elle ne transpire pas, l'absorption diminue constamment et finit par s'arrêter ; on ne peut donc pas séparer artificiellement, dans une plante intacte, ces deux phénomènes dont la connexité est si étroite et si constante.

5[e] EXPÉRIENCE. — *Détermination de l'absorption aux températures élevées.*

Cette expérience a été faite sur un rameau de Saule qui avait pris racine dans l'eau depuis plus de deux mois. Les parties aériennes de la plante étaient entourées, ainsi que l'indique la planche, d'une espèce de cage ouverte sur le devant, faite avec des baguettes de verre auxquelles j'accrochais des feuilles de papier à filtre mouillé. De cette façon la plante baignait dans une atmosphère saturée, et elle pouvait recevoir librement les rayons lumineux et calorifiques d'une forte lampe à gaz placée à une certaine distance. Comme je ne dispose pas d'un régulateur de pression, je surveillais le rayonnement de la lampe à l'aide de la pile thermo-électrique, et toutes les fois que l'écart de l'aiguille augmentait ou diminuait, je le ramenais en réglant le robinet du gaz. L'expérience a été faite dans une grande salle dont les volets noirs étaient fermés.

Le tube horizontal qui servait aux lectures était gradué en milligrammes d'eau.

Les observations ont été faites à des distances assez éloignées pour éviter l'influence des changements de température.

J'élevais d'abord l'eau à la température voulue ; puis, l'heure et la place du ménisque étant notées, j'attendais, pour terminer l'expérience, que la température, s'élevant encore un peu, fût redescendue au point initial.

J'ai consigné les résultats dans le tableau suivant :

Tableau n° 6.

Absorption aux températures élevées. — Saule enraciné dans l'eau.
Air saturé ; rayonnement d'une lampe à gaz.

Heures.	Température de l'eau.	Température de l'air.	Écart du galvanomètre.	Numéro de la division.	Différence.	Absorption par minute	Observations.
	°	°					
2 h. 11 m.	11,4	14	27	153			La température finale
31	11,45	13,5	26	155	2	0,2	n'a pas été exacte-
21	11,5	14	27	157,2	2,1	0,22	ment la même.
2 h. 36 m.	14,9	14,5	27	146,5			
	max. 16,1						
3 h. 9	14,9	14,5	27	154,3	7,8	0,24	
3 h. 16 m.	18,1	14,9	27	137,6			
	max. 20,5						
37	18,1	15,0	27	146,5	8,9	0,42	
3 h. 45 m.	23,7	15,5	27	120			La pression du gaz
	max. 24,6		29				a subitement aug-
4 h. 1	23,7	15,5	27	126	6	0,37	menté.
4 h. 11 m.	27,4	15,8	27	105			L'ascension de la
	max. 28,5		28				température a été
24	27,4	16	26	108,5	3,5	0,27	un peu trop rapide.
4 h. 29 m.	27,4	16	26	106			
	max. 28,0						
42	27,4	16,2	26	111	5	0,38	

Jusqu'à la température de 24 degrés l'absorption est très-rapidement croissante. Quant aux expériences qui ont été faites au-dessus de 23°,7, j'estime que les résultats ont été troublés par plusieurs causes d'erreur.

La première est le dégagement de l'air tenu en solution dans l'eau ; on voit en effet le gaz perler en nombreuses pe-

tites bulles imperceptibles sur les racines de la plante et sur les parois du cylindre ; le volume du liquide doit donc augmenter et simuler dans le tube gradué un ralentissement de l'absorption. Pour éviter cette difficulté, j'ai fait couler dans le cylindre de l'eau qui avait été préalablement maintenue à une température un peu plus élevée que celle à laquelle je voulais opérer, ce qui était facile, grâce à la disposition que j'ai figurée planche 9.

Malgré cette précaution, j'ai toujours obtenu des absorptions décroissantes pour les températures élevées; le maximum ne serait même pas loin des températures atmosphériques ordinaires.

Dans l'expérience sur le Saule, je l'ai trouvé la première fois à 19 degrés; une autre fois, avec de l'eau partiellement privée d'air, à 16°,2. Pour le Laurier-rose (*Nerium*), je l'ai trouvé à 16°,5.

La réplétion, dont j'ai longuement parlé plus haut, peut également produire cette diminution. Ce qui me le fait penser, c'est que j'ai plusieurs fois observé que l'absorption diminue même quand la température du sol reste la même.

Ainsi j'ai obtenu pour le Saule :

Température de l'eau.	Température de l'air.	Absorption par minute.
16°,15	12°,4	0°,12
16°,15	12°,8	0°,09

Les expériences ont duré respectivement 19 et 11 minutes; la légère oscillation de la température de l'air n'a donc pas pu causer une pareille diminution de l'absorption.

Je crois avoir suffisamment exposé mes idées sur les relations compliquées, mais très-étroites, entre l'absorption et la transpiration, pour que je n'aie pas à craindre d'être mal compris.

Le dégagement de l'air dissous que je suis cependant parvenu à éviter, la réplétion par suite d'une absorption supérieure à la transpiration, ne me permettent pas de tirer de

ces expériences aux températures élevées une conclusion bien décisive.

Il est bien établi que l'absorption augmente rapidement de 10 degrés à 15 degrés; mais au delà, réduit aux conjectures, je préfère garder un prudent silence.

L'ABSORPTION

COMPARÉE DIRECTEMENT A LA TRANSPIRATION

Par M. Julien VESQUE

---

§ 1er

Je ne crois pas que personne ait jamais tenté de comparer directement les quantités d'eau qu'une plante transpire et qu'elle absorbe en un même temps donné et dans ses différentes conditions de végétation. Rien n'est pourtant plus important, même au point de vue pratique ; dans la science pure, de telles expériences sont éminemment propres à éclairer la question du mouvement de l'eau dans les divers organes du végétal.

Les résultats qui m'ont été fournis par une série d'essais très-simples me paraissent assez intéressants pour être immédiatement soumis à l'appréciation des physiologistes. Ils apportent, à mon avis, une éclatante confirmation aux idées de M. Boehm sur le rôle des gaz du bois dans l'ascension de la séve.

La principale conclusion qui découle de mes expériences peut s'énoncer de la manière suivante :

1. *L'absorption n'est pas proportionnelle à la transpiration.*— Ainsi que l'a décrit M. Boehm et que M. von Hoehnel l'a constaté *de visu*, la transpiration fait le vide dans les espaces aérifères de la plante : c'est ce vide qui agit sur l'absorption. Il peut donc arriver, à part l'absorption particulière désignée sous le nom de « poussée des racines », que l'une de ces quantités soit momentanément plus forte que l'autre, que celle-ci égale la première

plus tard et peut même la dépasser à son tour. La transmission de la succion ne se fait que lentement, et elle se continue alors que la force qui lui a donné naissance a cessé d'agir. A cette complication s'ajoutent celles que j'ai déjà signalées, comme l'effet des brusques changements de température, le défaut de parallélisme entre la courbe de l'absorption et celle des tensions de la vapeur d'eau quand on élève la température de l'air sec où baignent les feuilles, etc. Il faut que la force de succion produite par la transpiration soit emmagasinée quelque part dans la plante, qu'elle soit dépensée peu à peu, quelquefois très-longtemps après sa naissance; que chaque rayon de soleil, quelque fugitif qu'il soit, en activant la transpiration, apporte son contingent à la force de succion; que tous ces petits appoints s'accumulent et se transmettent sans perte d'un bout à l'autre de la plante, tout en régularisant la dépense et en prolongeant l'effet. Le soir, lorsque le soleil baisse, la transpiration diminue, mais l'absorption baisse moins vite et répare pendant une partie de la nuit la perte de la journée.

2. — Il existe une période diurne très-nette dépendant du rayonnement, de l'éclairage et de la température, inégaux aux différentes heures de la journée. Vers midi, surtout quand le temps est clair, la transpiration est beaucoup plus forte que l'absorption; vers quatre heures (en hiver), c'est l'inverse.

3. — Il est bien évident que, lorsqu'on empêche la transpiration ou qu'on l'accélère, on doit trouver une absorption respectivement plus élevée ou plus faible que l'absorption. Il est clair en outre que, dans le premier cas, l'absorption doit baisser rapidement et se réduire à zéro au bout d'un temps variable.

Tous ces faits constatés par l'expérience s'expliquent par le seul principe suivant :

Les vides produits par la transpiration s'accumulent, se conservent et ne sont que lentement comblés par l'absorption. L'air confiné dans la plante à une pression inférieure à l'atmosphère subit toutes les influences physiques extérieures;

sa pression varie, et par conséquent l'absorption dépend de ces agents physiques, tels que la température et la pression atmosphérique.

Avant de passer à la description de mes expériences, je demande au lecteur la permission d'intercaler une petite parenthèse relative à une objection que je me suis faite moi-même dans mon premier mémoire.

§ 2. — Les racines peuvent-elles augmenter de volume quand on élève la tension de l'air dans les vaisseaux?

Si tel était le cas, les expériences qui portent sur les effets des changements de la température sur l'absorption de l'eau par les racines perdraient en partie leur force démonstrative. Je n'avais pas réussi à me rendre exactement compte de la portée de cette objection. Il était donc important d'y revenir en opérant sur le Lierre, plante qui a servi au plus grand nombre de mes expériences. Je ne prétends nullement appliquer le résultat de ces essais à d'autres espèces; il est très-possible qu'elles se comportent différemment à cet égard. Le nombre et le volume des méats intercellulaires sont, je crois, la seule cause déterminante du phénomène en question, s'il existe.

Je prends une bouture de Lierre bien enracinée dans l'eau; j'attache au milieu de la tige de la plante une boule de verre pleine d'air, et plus bas un poids. Cette plante ainsi lestée flotte dans l'eau, et, si le poids inférieur est bien choisi, elle se tient parfaitement droite. Il suffit de fixer le long de la tige un tube de verre clos et renfermant une échelle, pour avoir un véritable aréomètre. Si les racines augmentent de volume, elles déplacent une plus grande quantité d'eau et la plante doit émerger.

Ce principe, si simple en théorie, est pourtant d'une application assez difficile à cause du poids des organes aériens de la plante.

La figure ci-contre représente la forme la plus convenable du flotteur et du lest.

Je me suis servi comme flotteur d'un tube en U (A), dont les deux branches étaient scellées à la lampe. Le tube B, ouvert en haut, attaché au premier par un fil de platine, reçoit du mercure dont on règle la quantité à volonté. Enfin le tube cylindrique C, attaché aux branches du tube en U, sert à la fois à soutenir la plante et à marquer l'affleurement. Un densimètre ordinaire qui flotte à côté de l'appareil permet de se tenir en garde contre les changements de densité de l'eau.

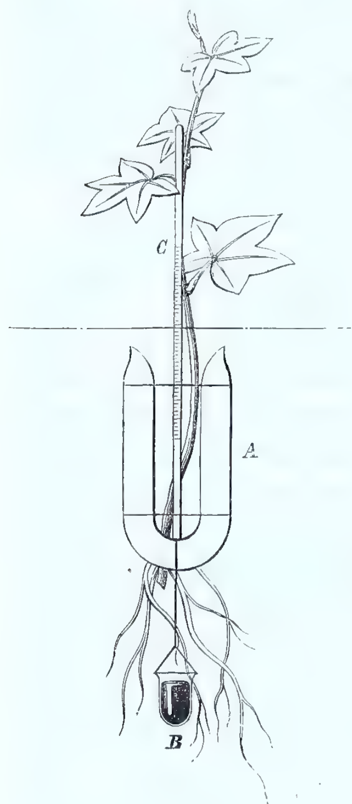


Fig. 1.

Il s'agit maintenant d'augmenter la pression de l'air des vaisseaux. Le moyen le plus sûr consiste à en élever la température; pour cela, j'ai placé près de la plante, à 30 ou 40 centimètres, une large flamme de gaz éclairant, après avoir soigneusement séché les feuilles avec du papier buvard. Il ne m'a pas été possible d'observer le moindre mouvement ascensionnel (1). Pour obtenir des augmentations de pression plus considérables, j'ai tenté de faire pénétrer dans la plante du gaz hydrogène ou acide carbonique. Si la loi de Graham est applicable à l'épiderme des plantes, l'hydrogène doit y entrer plus vite que les autres gaz ne sortent, et la pression doit augmenter dans la plante. Si au contraire elle ne l'est pas, et que les gaz passent d'autant plus facilement à travers l'épiderme qu'ils sont plus solubles dans l'eau, ainsi que l'a

(1) La diminution de poids que subit la plante par suite de la transpiration activée agit en même sens que la dilatation des racines. Dans le cas d'un résultat négatif, elle n'est donc pas une cause d'erreur.

montré M. N. J. C. Müller, j'obtiendrai le résultat voulu avec l'acide carbonique. Ne voulant pas juger ici cette grave question, j'ai tenté l'expérience avec les deux gaz, en entourant les feuilles de la plante tantôt d'une atmosphère d'hydrogène, tantôt d'une atmosphère d'acide carbonique.

Dans les deux cas le résultat a été négatif. Si cette dernière expérience avait été seule, elle n'aurait rien prouvé, parce que je ne puis pas affirmer que le gaz a réellement pénétré dans la plante; mais, combinée avec la première qui est déjà concluante à elle seule, elle ne peut qu'en rehausser la valeur.

Je puis donc affirmer que les racines du Lierre ne se dilatent pas d'une manière sensible lorsqu'on élève la température de l'atmosphère intérieure d'une dizaine de degrés (1).

§ 3. — Description des appareils destinés à comparer l'absorption à la transpiration.

A. — L'appareil consiste en un tube cylindrique A, fermé par un bouchon dans lequel on mastique hermétiquement la tige de la plante; ce tube est en communication inférieurement avec un autre tube plus étroit B, recourbé de manière à avoir une grande branche verticale. Sur un point de celle-ci, *a*, le tube est étranglé. Enfin le grand tube cylindrique communique avec l'air extérieur par un tube capillaire C recourbé et effilé. Tout ce petit appareil, qui mesure environ de 7 à 8 centimètres de haut est fixé sur une petite planchette de bois verni.

Tout étant ainsi disposé, il s'agit de remplir l'appareil d'eau. Pour cela, le tube B est mis enrelation par un tube de caoutchouc avec la tubulure inférieure d'un flacon plein d'eau situé plus haut. L'air s'échappe par le tube C. Il est facile, en inclinant l'appareil dans tous les sens, d'expulser les dernières bulles d'air qui s'attachent aux parois ou se prennent dans les

(1) Le rapport des pressions, dans la première expérience, est à peu près exprimé par la fraction

$$\frac{1 + 27\alpha}{1 + 17\alpha} = \frac{1,0972}{1,0512},$$

approximativement, 12 sur 11.

racines. Lorsque le tube C est plein d'eau, on le bouche, avec le doigt, on retire ensuite le tube de caoutchouc du tube B. On bouche avec le doigt le tube B et l'on scelle à la lampe l'extrémité du tube C. Les racines de la plante absorbant constamment de

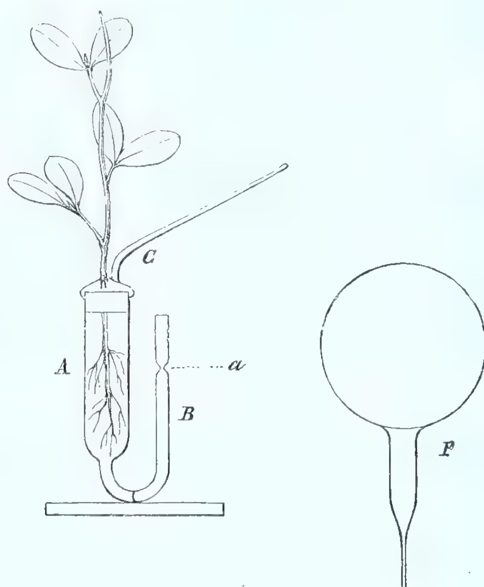


Fig. 2.

l'eau, le niveau du liquide baisse dans le tube B, et l'on peut aisément mesurer la quantité d'eau disparue. Quant à la quantité d'eau perdue par transpiration, c'est le poids de l'appareil qui l'indique. Quand on veut faire une expérience, on enlève avec du papier buvard l'eau qui dépasse l'étranglement du tube B (1); ensuite on pèse rapidement l'appareil, on marque l'heure et l'on abandonne l'expérience à elle-même. Il faut qu'elle dure assez longtemps pour que le temps très-court qui s'écoule entre le temps de l'affleurement en *a* et la pesée puisse être négligé. Quand on veut arrêter l'expérience, on pèse de nouveau l'appareil. La perte de poids est égale à l'eau transpirée par la

(1) Il est avantageux de laisser la partie étranglée assez large pour qu'en versant de l'eau dans ce tube, on n'emprisonne pas de bulle d'air. Dans ce cas, il devient nécessaire d'y marquer au diamant un point de repère.

plante. Ensuite, à l'aide d'une ampoule à moitié remplie d'eau, figurée en P et préalablement pesée, on verse de l'eau dans le tube B jusqu'à ce que le niveau soit ramené en *a*. On repèse l'ampoule P ; la différence de poids égale la quantité d'eau absorbée.

Il n'est pas même nécessaire de peser l'ampoule ; il suffit évidemment de peser la plante à la fin de l'expérience, de verser, à l'aide de l'ampoule, de l'eau dans le tube B, jusqu'au point *a* et de peser. La différence de poids donne la quantité d'eau absorbée. Cependant j'ai toujours pesé l'ampoule. J'avais ainsi un excellent contrôle qui me permettait d'écarter les expériences dans lesquelles il s'était introduit une erreur résultant de l'espace de temps écoulé entre les différentes opérations.

C'est cet appareil simple et d'un maniement facile qui a servi à toutes les expériences que je rapporte dans ce travail.

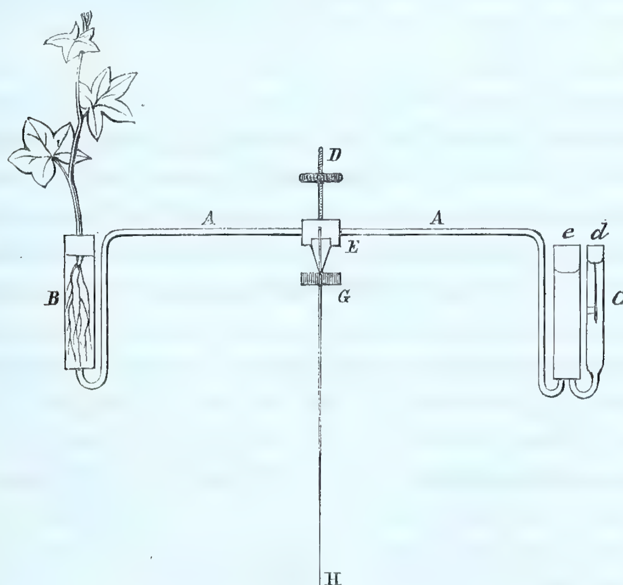


Fig. 3.

J'en ai construit un autre qui peut servir avec avantage quand il ne s'agit que de la démonstration du phénomène.

B. — Le tube de cristal AA, à parois épaisses et à cavité capil-

laire, est recourbé aux deux extrémités de manière à porter d'un côté le cylindre B, de l'autre le petit appareil C. Le cylindre B, fixé sur le tube A à l'aide d'un bouchon que ce tube traverse, porte à sa partie supérieure une plante dont la tige est hermétiquement mastiquée dans un bouchon. L'appareil C, en communication par son extrémité inférieure avec le tube A, reçoit par le même bouchon un autre tube recourbé qui s'élargit et se termine par une petite partie cylindrique verticale *d*. Cette petite annexe sert à juger avec plus de précision du niveau de l'eau. Le liquide y forme un ménisque hémisphérique touchant, au commencement de l'expérience, à la pointe d'une aiguille dirigée de bas en haut et fixée vers le milieu de la hauteur du tube. Le tube A traverse à frottement dur une pièce E munie d'un couteau de balance qui repose sur plateau G. La même pièce D porte en haut une vis avec un écrou qui permet de hausser ou d'abaisser le centre de gravité de tout le système. Enfin les extrémités B et C peuvent servir d'attache à deux plateaux de balance.

Cet appareil, reposant sur le couteau, fonctionne à la manière d'une balance dont le fléau serait creux. La plante prend son eau dans l'appareil C, le cylindre B restant toujours rempli d'eau. Supposons qu'au commencement de l'expérience l'équilibre soit établi, que l'aiguille soit arrêtée au zéro, nous pouvons considérer la charge de chacune des branches du fléau comme égale à P.

Que deviendra chacune des charges au bout d'un temps déterminé ?

Soient p l'eau absorbée par les racines de la plante, p' l'eau transpirée par la plante :

La charge du côté B sera.

$$P + p - p' ;$$

celle du côté C,

$$P - p.$$

Le poids qu'il faudra mettre dans le plateau C pour rétablir l'équilibre sera :

$$P + p - p' - P + p = 2p - p' = x.$$

Cette quantité sera en général positive, c'est-à-dire le plateau B s'abaissera ; pour que le plateau C s'abaisse, il faut que

$$p' > 2\,p,$$

que la plante évapore plus du double de l'eau absorbée.

Lorsque la plante évapore exactement deux fois plus d'eau qu'elle n'en absorbe, la balance reste en équilibre.

Aussitôt que l'expérience est commencée, on voit le niveau de l'eau baisser et l'aiguille émerger dans le tube D.

Pour fixer les idées, je suppose $p > p'$. Avec l'ampoule tarée de la figure 2, je verse dans le tube *e* de l'eau jusqu'à ce que le niveau soit rétabli en D. La différence de poids de l'ampoule est égale à l'eau absorbée p. L'équilibre n'est pas encore rétabli ; il faudra, pour qu'il le soit, verser encore une petite quantité d'eau qui, ajoutée à la première, donne la quantité x. Nous connaissons donc p et x :

$$p' = 2\,p - x.$$

Cet appareil a de grandes qualités démonstratives : placé dans un endroit très-sec et au soleil, on parvient à faire baisser le plateau C. Dans les conditions ordinaires de la végétation, à l'air humide et à la lumière diffuse, on remarque qu'en ramenant le niveau en *d*, on rétablit en même temps l'équilibre p étant égal à $p' : n = p = p'$. Enfin il arrive très-souvent que la première opération ne suffit pas, et qu'il faut ajouter une nouvelle quantité d'eau pour que l'aiguille marque zéro.

La marche que j'ai suivie dans cette étude est en peu de mots la suivante :

A. Absorption et transpiration dans des conditions atmosphériques moyennes : lumière diffuse, état hygrométrique 60° à 70° ;

B. Dans l'air sec ;

C. Dans l'air saturé ;

D. Après un manque d'eau.

A. — *Absorption et transpiration dans des conditions atmosphériques moyennes.*

1re EXPÉRIENCE (appareil de la fig. 2).

Fève développée dans l'eau (1).

Température de l'air, 11°-13°; lumière diffuse.
Durée, de 4 h. 13 min. à 5 h. 1 min.

	gr.
Poids initial de l'appareil.	156,130
Poids final.	155,915
Eau perdue par transpiration	0,215
Poids initial de l'ampoule.	4,465
Poids final.	4,250
Eau absorbée.	0,215

L'absorption a été rigoureusement égale à la transpiration.

2e EXPÉRIENCE.

Même plante. Lumière diffuse; même emplacement que dans l'expérience précédente.

Température de l'air, 15°,1 à 15°,5.
Hygromètre à cheveu, 57°,5
Durée, 2 h. 45 min. à 4 h. 9 min.

Poids initial de l'appareil	156,205
Poids final	155,540
Eau perdue par transpiration.	0,665
Poids initial de l'ampoule	3,800
Poids final	3,145
Eau absorbée.	0,655

La transpiration a été d'une très-petite quantité plus forte que l'absorption. Il faut remarquer que la température a été sensiblement plus élevée que dans l'expérience précédente et que l'air a été relativement sec.

(1) Cette plante avait germé dans l'eau. Elle était garnie au moment de l'expérience de quatre feuilles parfaitement développées; la cinquième commençait à étaler son limbe.

3e EXPÉRIENCE.

Même plante.

Température de l'air, 14°.
Hygromètre à cheveu, 63e.
Durée de l'expérience, de 10 h. 0 min. du matin à 11 h. 0 min.

Poids initial de l'appareil	165,380
Poids final.	165,220
Eau perdue par transpiration.	0,160
Poids initial de l'ampoule	85,440
Poids final.	85,280
	0,160

L'absorption est égale à la transpiration.

La température est moins élevée et l'air est moins sec que dans l'expérience précédente.

Un grand nombre d'expériences semblables, qu'il serait inutile de citer, m'ont toujours donné le même résultat, à savoir : que dans ces conditions moyennes l'absorption est sensiblement égale à la transpiration. Très-souvent on obtient pour ces deux fonctions rigoureusement les mêmes chiffres.

B. — *Absorption et transpiration, les feuilles baignant dans l'air sec.*

Le petit appareil est placé sur une brique qui occupe le fond d'une terrine. Il est recouvert d'une cloche de verre. L'atmosphère intérieure est séparée du dehors par de l'acide sulfurique et se dessèche promptement au contact de ce liquide.

Au commencement, l'air sec ne paraît pas agir sensiblement sur le rapport entre la transpiration et l'absorption ; mais, lorsque la plante a déjà séjourné pendant quelque temps dans l'air sec, la transpiration est bien plus forte que l'absorption.

1re EXPÉRIENCE.

Une Fève bien vigoureuse, garnie de quatre feuilles développées, est retirée de la serre et placée sous une cloche sur l'acide sulfurique.

Température de l'air, 15°,7 à 16°,1.
Durée de l'expérience, 1 h. 55 min. à 3 h. 50 min.

	gr.
Poids initial de l'appareil	165,760
Poids final	165,610
Eau perdue par transpiration	0,150
Poids initial de l'ampoule	83,490
Poids final	83,340
Eau absorbée	0,150

La plante n'a donc ni perdu ni gagné. Le rapport de la transpiration à l'absorption est de 1 sur 1.

2e EXPÉRIENCE.

La plante a séjourné le reste de la journée et la nuit dans l'atmosphère humide de la serre. Les deux feuilles inférieures étaient fanées quand j'ai commencé l'expérience.

Température de l'air, 17° à 19,°2.
Durée de l'expérience, de 3 h. 10 min. à 5 h. 0 min.

	gr.
Poids initial de l'appareil	165,670
Poids final	165,520
Eau perdue par transpiration	0,150
Poids initial de l'ampoule	83,270
Poids final	83,200
Eau absorbée	0,070

La transpiration a été beaucoup plus forte que l'absorption. Le rapport est $\frac{25}{7} = 2,14$.

On remarque que, depuis la première expérience jusqu'à la deuxième, la plante a notablement perdu de poids. L'affleurement étant rétabli dans le petit tube B après la première expérience, elle pesait avec l'appareil 165gr,760.

Le lendemain, au commencement de la deuxième expérience, elle ne pesait plus que 165gr,670.

La perte d'eau a donc été de 0gr. 090 pendant 1400 minutes.

Elle n'est cependant pas comparable à celle que la plante a subie dans l'air sec pendant les 110 minutes qu'a duré l'expé-

rience : elle a été de 0gr,080, calculée pour 1400 minutes, de 1gr,018, et pour 60 min., de 0gr,044.

La transpiration calculée pour 60 minutes a été de 0,082 et l'absorption de 0,038.

Ce traitement par l'air sec, qui est bien supporté, même assez longtemps, par les plantes à feuilles persistantes comme le Laurier-rose, paraît être rapidement funeste à la Fève.

La transpiration et l'absorption diminuent rapidement, mais la première est toujours plus forte que l'autre, quoique le rapport diminue.

3e EXPÉRIENCE.

La même plante dans l'air sec.

Température de l'air, 16°.
Durée, de 5 h. 0 min. à 7 h. 0 min.

Poids initial de l'appareil.	165,590
Poids final.	165,500
Perte d'eau par transpiration.	0,090
Poids initial de l'ampoule.	83,200
Poids final.	83,140
Eau absorbée..	0,060

Le rapport entre la transpiration et l'absorption est 1,50.

La transpiration calculée pour 60 min. a été de 0,043 et l'absorption de 0,029.

Perte de poids pendant 60 min., 0,014.

La plante, abandonnée à elle-même pendant la nuit et la matinée suivantes dans la serre, a encore perdu de poids d'une manière notable. De 165,560 son poids est descendu à 165,270. La perte calculée pour 60 min. a été de 0gr,011, ce qui équivaut presque à celle que la plante subissait dans l'air sec.

Le lendemain, j'ai fait avec la même plante deux expériences dans l'air ordinaire du laboratoire, et j'ai pu constater que la rupture d'équilibre entre les deux fonctions qui président au mouvement de l'eau a persisté.

4e EXPÉRIENCE.

Les deux feuilles inférieures sont complétement fanées, la troisième commence à souffrir.

Température de l'air, 16°,3 à 18°,2.
Durée de l'expérience de 2 h. 0 min. du soir à 4 h. 30 min.

Poids initial de l'appareil	165,350
Poids final	165,270
Eau perdue par transpiration	0,080
Poids initial de l'ampoule	83,140
Poids final	83,090
Eau absorbée	0,050
Rapport entre la transpiration et l'absorption	1,60
Transpiration calculée pour 60 min	0,032
Absorption calculée pour 60 min	0,020
Perte d'eau calculée pour 60 min	0,012

5e EXPÉRIENCE.

Température de l'air, 15°.
Durée de l'expérience, de 4 h. 30 min. à 6 h. 50 min.

Poids initial de l'appareil	165,320
Poids final	165,140
Eau perdue par transpiration	0,180
Poids initial de l'ampoule	83,080
Poids final	83,050
	0,030

A la fin de cette expérience toutes les feuilles étaient fanées et la tige elle-même penchait. J'ai donc jugé inutile de continuer ces expériences.

Trois points ressortent avec la plus grande netteté de cette série d'essais : 1° que dans l'air sec la transpiration activée n'agit pas dans la même proportion sur l'absorption ; 2° que, celle-ci restant en retard, la plante se fane ; 3° que lorsque cet

état dure, il devient incurable, et que, dans la plante fortement fanée, l'absorption reste bien inférieure à la transpiration, même dans l'air ordinaire.

Il est nécessaire de rendre le lecteur attentif à la concordance qui pourrait bien exister entre ce fait et les idées de M. Boehm. Ce savant fait, probablement avec raison, jouer un rôle à l'élasticité des parois cellulaires dans le phénomène de l'ascension de la séve. Le vide produit par la transpiration dans les cellules ligneuses et dans les vaisseaux n'a certainement pas de limites par lui-même; il n'en est pas ainsi pourtant pour l'élasticité des parois cellulaires et leur imperméabilité pour l'air. A un certain degré de vide, les gaz peuvent-ils pénétrer mécaniquement dans le bois? la mince membrane des ponctuations peut-elle se déchirer et permettre à l'air de rétablir l'équilibre entre les pressions extérieure et intérieure et de rompre la liaison entre la transpiration et l'absorption ? C'est bien possible, mais je crois qu'il serait malaisé de le prouver dans l'état actuel de la science. Pour élucider cette question, je n'entrevois qu'un moyen : c'est l'étude des changements de volume des plantes, dont M. Haberlandt a déjà reconnu l'importance théorique.

Ce phénomène explique l'effet foudroyant de certains vents chauds. Il semble qu'il existe un maximum de vitesse de circulation pour l'eau ascendante ; si la transpiration dépasse ce maximum, non-seulement les cellules parenchymateuses perdent leur turgescence, mais il peut se produire un changement tel dans la plante, que l'équilibre entre l'entrée et la sortie de l'eau ne peut plus se rétablir.

Lorsqu'une plante est fanée par suite d'une transpiration trop active, ce n'est pas en l'arrosant qu'on peut la sauver ; il faut empêcher la transpiration, en la couvrant ou même en la mettant à l'obscurité. La transporter dans une serre chaude et humide peut devenir funeste, comme cela s'est vu mainte fois, parce que l'air de la plante augmente de tension et que la principale cause de l'absorption de l'eau se trouve ainsi diminuée.

C. — *Absorption et transpiration, les feuilles baignant dans l'air saturé.*

Il est à prévoir que lorsque la transpiration est entravée ou même arrêtée par le séjour des feuilles dans l'air saturé de vapeur d'eau, l'absorption sera, au moins pendant quelque temps, plus forte que la transpiration jusqu'à ce que la plante approche de cet état que j'ai appelé la réplétion, (1) et que j'ai étudié avec quelque soin dans mon précédent mémoire.

La plante, fixée dans l'appareil, est introduite sous une cloche. Celle-ci est disposée dans un cristallisoir dont le fond est occupé par de l'eau.

1re EXPÉRIENCE.

Une Fève qui sort de la serre est disposée sous la cloche.

Température de l'air, 12° à 13°,5.
Durée de l'expérience, de 10 h. 10 min. matin à 12 h. 40 min.
Lumière diffuse du laboratoire.

Poids initial de l'expérience	165,680
Poids final	144,570
Eau perdue par transpiration	0,110
Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au point de repère	165,710
Eau absorbée	0,140
Eau gagnée par la plante	0,030
Rapport de la transpiration à l'absorption	0,79
Transpiration calculée pour 60 min.	0,044
Absorption calculée pour 60 min.	0,056
Gain d'eau calculé pour 60 min	0,012

2e EXPÉRIENCE.

La même plante dans les mêmes conditions.

Température de l'air, 14,°5.
Durée de l'expérience de 2 h. 5 min. à 3 h. 35 min.

Poids initial de l'appareil	165,650
Poids final	165.530
Eau perdue par transpiration	0,120

(1) Voyez Vesque, *Influence de la températnre du sol sur l'absorption.*

Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au trait de repère	165,680
Eau absorbée	0,150
Eau gagnée par la plante	0,030
Rapport de la transpiration à l'absorption	0,80
Transpiration calculée pour 60 min.	0,080
Absorption calculée pour 60 min.	0,100
Gain d'eau calculé pour 60 mim.	0,020

Il est presque inutile d'ajouter que ces deux expériences n'ont pas été faites le même jour. Je n'ai pas noté l'état du ciel, qui a notablement influé sur la transpiration. Je ne cherchais absolument qu'à comparer l'absorption à la transpiration.

3e EXPÉRIENCE.

Même plante.

Température de l'air, 14°.
Durée de l'expérience, de 3 h. 35 min. à 5 h. 0 min.

Poids initial de l'appareil	165,680
Poids final	165,620
Eau perdue par transpiration	0,060
Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au trait de repère	165,720
Eau absorbée	0,100
Eau gagnée par la plante	0,040
Rapport de la transpiration à l'absorption	0,60
Transpiration calculée pour 60 min.	0,042
Absorption calculée pour 60 min.	0,070
Gain d'eau calculé pour 60 min.	0,028

Cette expérience fait exactement suite à la précédente, elle commence au moment même où l'autre finit ; il est donc instructif de réunir les chiffres d'une manière synoptique et de les comparer.

	TRANSPIRATION par heure.	ABSORPTION par heure.	RAPPORT de la transpiration à l'absorption.	GAIN D'EAU par heure.
	Milligr.	Milligr.	Milligr.	Milligr.
2e expérience.	80	100	0,80	20
3e expérience.	42	70	0,60	28

On voit que la transpiration a notablement baissé ; dans la troisième expérience, elle est à peine supérieure à la moitié de ce qu'elle était dans la deuxième.

L'absorption a diminué aussi, mais beaucoup moins ; de sorte que le rapport de transpiration à absorption s'abaisse et que la plante gagne des quantités croissantes d'eau. Ce sont là les caractères de la première phase que traverse la plante dont la transpiration est entravée. Le vide qui existe dans ses tissus agit encore sur l'absorption, mais la transpiration ne le réparant pas à mesure qu'il est comblé, l'absorption baisse insensiblement ; elle devient une fonction *du temps* plutôt que de la transpiration. Il vient enfin un moment où la différence entre la pression atmosphérique et la tension des gaz intérieurs, plus la résistance de filtration ne suffit plus pour faire pénétrer, l'eau dans les racines. C'est la deuxième phase, la phase de réplétion.

D. — *Absorption et transpiration après un manque d'eau.*

Si la succion produite par la transpiration n'est pas en même temps comblée par l'absorption, il est évident que cet effet doit se conserver, s'accumuler dans la plante, et ne rencontre pour limite que celle que j'ai indiquée plus haut dans la série B de mes expériences. Il découle de là que, lorsque les racines n'ont pas à leur disposition une quantité d'eau suffisante pour satisfaire à la succion, l'excès de cette force n'est pas perdu, mais se conserve jusqu'au moment où les racines se trouvent de nouveau en contact avec de l'eau.

Quand on dispose un de mes anciens appareils à tube capi-

laire gradué de manière à pouvoir faire écouler l'eau, on peut se persuader aisément qu'il suffit de laisser les racines à l'air pendant quelques minutes seulement pour observer ensuite une absorption bien au-dessus de la moyenne, mais qui diminue graduellement jusqu'à ce qu'elle soit de nouveau égale à cette moyenne.

J'ai fait dans le même but quelques expériences avec l'appareil qui m'a servi aux expériences précédentes.

1re EXPÉRIENCE.

Une bouture de Laurier-rose (*Nerium*) est mastiquée dans l'appareil; pendant cette opération, qui a duré à peu près une demi-heure, les racines ont séjourné dans l'air humide.

Durée de l'expérience de 4 h. 36 min. à 5 h.; ciel couvert.

Poids initial de l'appareil	101,400
Poids final	101,390
Perte par la transpiration	0,010
Poids initial de l'ampoule	5,850
Poids final	5,815
Eau absorbée	0,035

L'absorption a donc été de beaucoup supérieure à la transpiration ; le rapport de transpiration à absorption a été 0,29.

J'ai fait deux séries d'expériences sur une fève élevée dans l'eau dans la serre et que j'ai laissée manquer d'eau.

2e EXPÉRIENCE.

Fève prise dans la serre chauffée à 20° environ. La plante manque d'eau; les racines émergent sur deux tiers de leur longueur. Les deux feuilles inférieures sont fanées.

A. — De 2 h. 49 min. à 3 h. 35 min.
Température de l'air, 18° 5 ; état hygrométrique, 58°.

Poids initial de l'appareil	156,010
Poids final	155,750
Poids perdu par transpiration	0,260

Poids après remplissage jusqu'au trait de repère.	156,120
Eau absorbée.	0,370
Poids de l'eau gagnée.	0,110
Transpiration calculée pour 60 min.	0,339
Absorption calculée pour 60 min.	0,483
Gain calculé pour 60 min.	0,144
Rapport de transpiration à absorption.	0,70

Après ces pesées, la feuille supérieure des deux plantes fanées était redressée.

B. — De 3 h. 35 min. à 4 h. 21 min.
Température de l'air 16,°3.
État hygrométrique, 56°,5.

Poids initial de l'appareil.	156,120
Poids final.	155,920
Eau perdue par transpiration.	0,200
Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au trait de repère.	156,350
Eau absorbée.	0,430
Gain d'eau.	0,230
Transpiration calculée pour 60 min.	0,261
Absorption calculée pour 60 min.	0,561
Gain calculé pour 60 min.	300
Rapport de transpiration à absorption.	0,45

C. — De 4 h. 21 min. à 5 h. 3 min.
Température de l'air 12°,5 à 14°,7.
État hygrométrique 58°,5 à 60.

Poids initial de l'appareil.	156,350
Poids final.	156,215
Eau perdue par transpiration.	0,135
Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au trait de repère.	156,460
Gain d'eau.	0,110
Transpiration calculée pour 60 min.	0,139
Absorption calculée pour 60 min.	0,350
Gain d'eau calculé pour 60 min.	0,211
Rapport de transpiration à l'absorption	0,55

Les températures auxquelles ces trois expériences ont été faites sont trop différentes pour qu'on puisse raisonnablement comparer tous les résultats.

Le fait d'une absorption beaucoup plus élevée que la transpiration est certain. Dans la deuxième expérience, la transpiration est moindre que dans la première, et cependant l'absorption est plus forte, ce qui tient peut-être à l'abaissement de la température. Elle tombe ensuite très-rapidement.

3e EXPÉRIENCE.

La même plante complétement rétablie a été exposée au soleil dans la serre. Les trois feuilles inférieures sont pendantes.

A. — De 2 h. 23 min. à 2 h. 56 min. Ombre; température de l'air, 13°,3 à 13°,5; état hygrométrique, 62° à 61°,5.

Poids initial de l'appareil	156,030
Poids final	155,910
Eau perdue par transpiration	0,120
Poids de l'appareil après remplissage jusqu'au trait de repère	156,100
Eau absorbée	0,190
Gain d'eau	0,070
Transpiration calculée pour 60 min.	0,218
Absorption calculée pour 60 min.	0,345
Gain d'eau calculé pour 60 min.	0,127
Rapport de transpiration à absorption	0,63

Pour quelques expériences suivantes, j'ai placé la plante à 2 mètres d'un fourneau fortement chauffé. Aussitôt la transpiration s'est élevée au-dessus de l'absorption, et cela, nous avons le droit de le croire, pour deux raisons : d'un côté la transpiration a été augmentée par suite de l'intensité du rayonnement calorifique, et d'un autre côté l'absorption a diminué à cause de l'augmentation de la pression des gaz intérieurs.

Les faits que j'ai rapportés dans ce mémoire m'ont conduit aux conclusions suivantes :

1° De toutes les théories imaginées jusqu'à ce jour pour expliquer le mouvement de l'eau dans la plante, c'est celle de M. Boehm qui est le mieux en harmonie avec les faits observés.

2° Quoique la transpiration soit la cause la plus puissante de l'absorption, ces deux fonctions ne sont pas nécessairement proportionnelles.

3° L'absorption est égale (sensiblement) à la transpiration quand la plante végète dans des conditions peu variables et moyennes, par exemple à la lumière diffuse et dans l'air moyennement humide.

4° Lorsqu'une plante tirée de ces conditions moyennes est exposée à l'air sec, la transpiration est bien plus forte que l'absorption. Celle-ci ne peut même pas atteindre à un chiffre aussi élevé que la transpiration ; la plante se fane, et elle est exposée à un trouble irréparable qui consiste peut-être dans la destruction anormale du vide existant dans la plante.

5° Lorsqu'une plante tirée des conditions moyennes de végétation est exposée à l'air saturé, l'absorption, obéissant au vide déjà existant, est plus forte que la transpiration ; mais, à mesure que le vide se comble, elle se ralentit et finit par devenir nulle si la transpiration est elle-même nulle (réplétion).

6° Lorsqu'une plante manque d'eau, la succion produite par la transpiration n'est pas perdue ; elle s'accumule pour agir aussitôt que les racines viennent en contact avec l'eau. On observe alors une absorption beaucoup plus énergique que la transpiration, absorption qui va en diminuant à mesure que le vide existant se comble, pour se régler finalement sur l'intensité de la transpiration.

LES

CAUSES DE L'ASCENSION DE LA SÉVE

Par M. Jos. BOEHM (1)

De tous les aliments de la plante, l'eau est certes le plus indispensable; non-seulement elle constitue plus de la moitié du corps de la plante, mais elle sert encore de véhicule aux matières minérales qui font partie intégrante des organes du végétal. Dans les plantes terrestres, le mouvement de l'eau est en grande partie provoqué par la transpiration; à mesure que ce liquide s'évapore dans les feuilles, il est remplacé par de nouvelles portions venant des racines. Ce mouvement est très-rapide. Je laisse de côté la question de l'entrée de l'eau dans les racines, pour m'occuper uniquement des forces qui la poussent de la racine aux feuilles et des voies qu'elle parcourt.

L'expérience a montré que le courant ascendant de l'eau chargée de matières minérales s'opère dans le bois.

Chez les Dicotylées, que nous considérons à l'exclusion des autres groupes de plantes, cette partie de la tige se compose de vaisseaux et de cellules. Les vaisseaux sont des canaux continus qui parcourent sans interruption toute la plante, mais qui ne communiquent pas latéralement entre eux. On pourrait

(1) Josef Boehm, *Warum steigt der Saft in den Bäumen.* Wien, 1878.

croire que l'eau se meut par capillarité dans ces canaux ; mais certains faits s'opposent à cette manière de voir. Quand on fait, sur les côtés opposés d'une tige, des entailles qui rompent la continuité des vaisseaux, on voit que les feuilles de Dicotylées ne se dessèchent pas. Les Conifères sont privées de ces vaisseaux ; la séve ne peut donc monter que dans les cellules.

Il y a une quarantaine d'années, après qu'on eut appris à connaître l'endosmose et l'exosmose, personne ne doutait que cette ascension ne s'opérât par des différences de concentration des sucs dans les cellules. Il est certain que bien des phénomènes reposent sur ce fait, tels que, les pleurs de la Vigne et d'autres plantes, différentes sécrétions, la turgescence des jeunes organes, etc.

Aujourd'hui encore la majorité des physiologistes considère le mouvement de l'eau provoqué par la transpiration, dans les cellules turgescentes des feuilles, comme un phénomène de nature purement osmotique. Grâce à la création continue de matière organique dans les cellules assimilatrices, la tension osmotique aurait toujours une intensité telle, que l'eau venant des cellules voisines réparerait les pertes produites par la transpiration. Cette manière de voir est erronée, voici pourquoi :

1° Le mouvement de l'eau produit par l'osmose est extrêmement lent.

2° Les cellules qui transpirent directement, celles de l'épiderme sont généralement privées de chlorophylle ; elles n'assimilent pas et ne peuvent créer des matières capables de produire une diffusion osmotique. Il est probable que ce contenu n'est que de l'eau et qu'il ne peut pas se concentrer par évaporation.

3° Si l'eau évaporée était remplacée par osmose, les feuilles de plantes qui assimilent dans l'air humide devraient se couvrir d'eau excrétée, et les méats intercellulaires devraient également se remplir de ce liquide, ce qui n'a jamais été observé.

4° Dans une plante verte exposée dans un espace humide et

obscur, les différences de tension osmotique dans les cellules des feuilles devraient peu à peu s'effacer par l'usure des matières osmotiques ou par leur départ dans la tige. Les feuilles restent fraîches quand on transporte la plante dans l'air sec, sans permettre l'accès de la lumière.

5° Si le mouvement de l'eau dans les feuilles était produit par des différences de concentration du contenu des cellules, il devrait se faire de la même manière dans les bois dits parenchymateux, ce que personne ne voudra soutenir.

Si le mouvement de l'eau dans les feuilles n'est pas dû à l'osmose, cela doit être vrai à plus forte raison pour le bois dont les cellules ne renferment en général que de l'air quand la transpiration est très-active. Quelques savants compétents ont pensé jusque dans ces derniers temps que la force d'absorption des racines est capable de pousser l'eau jusque dans la couronne des arbres. Cependant bien des faits s'opposent à cette explication. Il a été impossible, dans un grand nombre d'espèces, de démontrer l'existence d'une pareille *vis à tergo*. La Vigne même ne se prête pas toujours à cette expérience ; lorsqu'elle est couverte de feuilles, le moignon qui reste après l'ablation d'un rameau, loin de laisser écouler de l'eau, tend plutôt à en absorber.

En 1860, M. Jamin, après avoir montré avec quelle force l'eau est absorbée par différentes substances poreuses, comme la craie, l'oxyde de zinc, l'amidon, etc., a émis l'opinion que la séve monte de la même manière dans les plantes, et cela bien plutôt par les parois cellulaires que par les vaisseaux relativement larges. Cette hypothèse, admise avec enthousiasme par les sommités scientifiques, est considérée partout comme un dogme inébranlable.

Les parois des cellules conductrices renferment naturellement de l'eau. Selon les idées classiques de M. Nägeli, nous devons admettre qu'elles consistent en molécules solides, différemment configurées, qui, au lieu de se toucher directement, sont revêtues d'une couche d'eau plus ou moins épaisse. Les espaces remplis de liquide sont les interstices moléculaires

qui diminuent par la dessiccation et peuvent même finir par disparaître.

Les parois cellulaires possèdent la faculté de remplacer l'eau qu'elles perdent par une de leurs faces, grâce à un mouvement de liquide venant de l'autre face; cette propriété porte le nom de pouvoir d'imbibition (1).

Quelle que soit l'attraction entre les noyaux et les enveloppes, il n'est point douteux que le mouvement de l'eau, dans les interstices moléculaires de la paroi cellulaire imbibée, n'obéisse aux mêmes lois que dans les tubes capillaires, et que par conséquent le frottement ne soit énorme.

Si l'eau ne cheminait absolument que dans ces interstices moléculaires, il serait évidemment plus avantageux pour la plante que ses tissus ne fussent pas composés de cellules, mais uniquement d'une masse semblable à la paroi cellulaire, ainsi que l'indique la figure ci-contre.

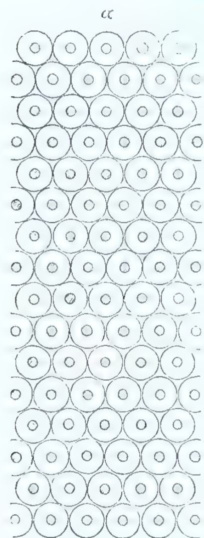


Fig. 1.

La théorie de l'imbibition exige non-seulement qu'en α (fig. 1), les enveloppes aqueuses s'écoulent facilement dans la cavité cellulaire, mais aussi que les enveloppes aqueuses de myriades de molécules sous-jacentes soient mises en mouvement. Si l'on découpe maintenant dans du bois d'If des disques d'à peine un centimètre d'épaisseur, on voit qu'une pression d'une atmosphère ne suffit pas pour en faire écouler de l'eau dans la direction radiale.

La figure 2 représente trois rameaux de *Salix fragilis* privés de leur écorce, longs de 40 centimètres. Ces rameaux ont été injectés d'eau par une coction prolongée : les n°s 1 et 2 immédiatement après avoir été coupés, le troisième après une culture de trois mois, à

(1) Quand on dessèche une paroi cellulaire, la diminution de son volume permet de juger de la quantité d'eau qu'elle renfermait. Voyez la figure 1, dans laquelle les enveloppes liquides des noyaux solides ont été figurées très-épaisses.

l'état de bouture. Tous les trois ont été placés dans l'eau par leur extrémité inférieure.

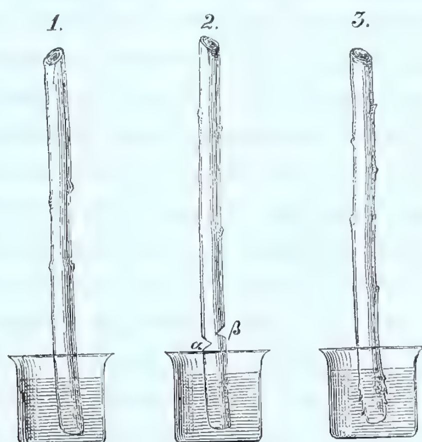


Fig. 2.

Les rameaux pesaient, le 4 mai 1877 :

N° 1.	N° 2.	N° 3.
118,5	134,1	104,5

Le 11 février 1878 :

107,6	62,9	49,7

Perte pour 100 du poids initial :

9,2	53,1	52,4

La différence réside en ceci, que dans le n° 2 les vaisseaux étaient coupés en α et en β, et que dans le n° 3 ils étaient occlus par les thylles développés à l'intérieur. Dans le n° 1, l'eau évaporée se remplaçait à travers les vaisseaux, qui fonctionnaient comme de simples tubes capillaires ; si ce rameau avait eu un mètre ou au delà de long, son extrémité supérieure aurait été sèche depuis longtemps. Il n'est pas douteux que les parois cellulaires n'aient rien perdu de leur pouvoir d'imbibition par la préparation qu'elles ont subie, et cependant l'im-

bibition n'a pas pu remplacer la minime quantité d'eau évaporée.

De jeunes Saules élevés de boutures se desséchaient aussitôt qu'on les privait de leurs racines.

L'eau qui imbibe les parois cellulaires étant seule en mouvement, il ne pourrait (à l'exclusion d'une *vis à tergo*) jamais y avoir d'eau, ni dans les cavités cellulaires, ni dans les vaisseaux. On se trouve en effet en présence de ce dilemme : Lorsque la plante transpire, les parois cellulaires, avides d'eau, prennent ce liquide là d'où il peut leur arriver le plus facilement, c'est-à-dire dans les cavités cellulaires ; par conséquent, celles-ci doivent se vider. Lorsque au contraire la plante ne transpire pas en hiver ou en été, la plante étant dépouillée de ses feuilles, les noyaux solides s'entourent d'une enveloppe liquide correspondant à leur nature et à leur volume ; mais l'exsudation de l'eau à l'intérieur des cavités cellulaires serait absolument impossible. Il est vrai que les cellules conductrices du bois renferment de l'air lorsque la transpiration est active ; les partisans de l'hypothèse de l'imbibition disent même que dans cette circonstance elles ne renferment que de l'air ; tout le monde s'accorde d'un autre côté à dire qu'en hiver elles renferment de l'air et de l'eau. Comment ce liquide peut-il s'y introduire, si le mouvement de la séve ne dépend que de l'imbibition des parois cellulaires ? Je puis même ajouter que, lorsque la transpiration est arrêtée, les vaisseaux se remplissent partiellement d'eau, et que néanmoins une section fraîchement pratiquée sur le rameau absorbe des liquides mêlés à l'eau. On ne saurait affirmer sérieusement que cette absorption ne dépend que de l'avidité des parois cellulaires en présence de cellules gorgées d'eau.

Par ce qui précède, je crois avoir démontré que le mouvement de l'eau occasionné par la transpiration dans les tissus parenchymateux n'est pas dû à des différences de la tension osmotique, et qu'on ne peut l'expliquer davantage en admettant que l'eau d'imbibition soit seule en mouvement. Je vais m'attacher à prouver que ce mouvement doit être considéré

comme un phénomène de filtration produit par des différences de pression dans les cellules.

L'appareil de la figure 3 est destiné à montrer comment la transpiration aspire l'eau dans des cellules remplies de liquide. Il se compose d'une série de cellules pleines d'eau, séparées les unes des autres par des membranes animales, et dont les parois, en partie élastiques, sont faites de verre (*ccc*) et de caoutchouc (*bbb*). La cellule supérieure (*a*) consiste en un entonnoir dont la partie évasée est fermée par plusieurs vessies de bœuf. Quelques-unes de ces cellules sont en communication avec des manomètres. Pour monter cet appareil de manière qu'il puisse fonctionner immédiatement, on applique l'entonnoir *a* muni du tube de caoutchouc *e* sur une surface sphérique, on le remplit d'eau, et l'on ferme le tube *e* à l'aide d'une pince de Mohr; ensuite on réunit le tube *e* à la cellule *b*, et l'on écarte la pince. L'eau distillée est additionnée d'une très-petite quantité d'acide phénique pour conserver les membranes.

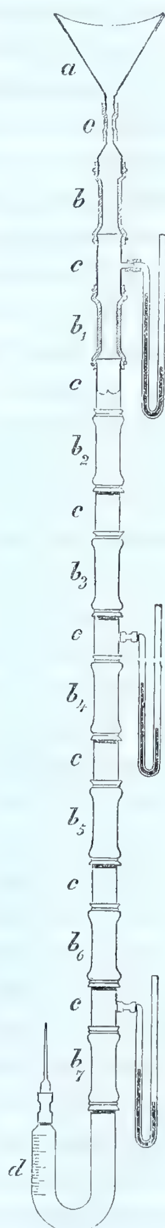


Fig. 3.

Lorsque la lamelle externe de la membrane qui recouvre l'entonnoir *a* perd de l'eau par évaporation, elle en emprunte à la deuxième lamelle, celle-ci à la troisième, et ainsi de suite; la plus interne prend de l'eau à la cavité intérieure de l'entonnoir. Si les parois latérales de l'appareil étaient rigides, si les parois transversales n'existaient pas, ou si le liquide pouvait circuler sans frottement dans l'épaisseur de ces parois, si enfin la membrane supérieure évaporante était imperméable à l'air, l'évaporation pourrait ainsi soulever une colonne d'eau de 10 mètres. Si l'appareil était en

même temps fermé en *d*, il se formerait dans l'entonnoir un espace vide, et l'évaporation ne pourrait continuer que jusqu'au moment où la membrane ne serait plus en contact avec l'eau. Dépassé ce point, elle se dessécherait.

Notre membrane n'est pas absolument imperméable à l'air; de plus, les parois latérales ne sont point rigides, mais élastiques. Lorsque l'entonnoir *a* perd de l'eau, la pression atmosphérique applique étroitement les parois sur le liquide; ces parois élastiques tendent à reprendre leur position primitive. La cellule *ab* est séparée de cb^1 par une membrane qui laisse passer l'eau beaucoup plus facilement que la première ne laisse passer l'air. Il passera donc de l'eau de cb_1 en *ab*; la pression est diminuée en *cb*, et cette cellule joue vis-à-vis de la suivante le même rôle que *ab* vis-à-vis de *cb*. Ce jeu se répète jusqu'à l'extrémité inférieure de l'appareil. Si celle-ci est fermée, il viendra un moment où l'air pénétrera à travers la membrane de l'entonnoir *a*; mais si la cellule inférieure peut prendre de l'eau à l'extérieur, cela n'arrivera que lorsque la résistance au passage du liquide, plus le poids de filtration de la colonne d'eau soulevée, est égale à la pression nécessaire pour faire passer l'air à travers la membrane humide. Dans cet appareil, le poids de la colonne d'eau agit bien plus fortement que dans une plante de la même hauteur, car le liquide y est maintenu par la force capillaire dans les très-petites cavités des cellules. Cependant je pense que dans les très-grandes plantes le poids de l'eau contenu dans les cellules pourrait devenir tel, malgré la capillarité, que l'ascension de la séve serait impossible si les cellules ne renfermaient que de l'eau.

Il n'est pas douteux que, dans les plantes à bois parenchymateux et dans les organes dont les cellules sont remplies d'eau, il ne se présente des phénomènes semblables à ceux que nous venons d'observer dans notre appareil; la membrane externe de l'entonnoir remplace les parois externes épaissies de l'épiderme. Dans les deux cas, le mouvement de l'eau provoqué par la transpiration est une *fonction de l'élasticité des parois cellulaires et de la pression atmosphérique*.

Les cellules des feuilles et celles du bois parenchymateux des Papayacées sont entièrement remplies de liquide ; leurs parois cellulaires sont élastiques. Il n'en est pas de même de celles du bois ordinaire ; là elles sont liées entre elles sans interstices, et lorsque la transpiration est active, on les trouve souvent, de même que les vaisseaux, *en apparence*, remplies d'air. Lorsqu'on examine, dans l'eau distillée ou dans l'eau chargée d'acide carbonique, des coupes longitudinales un peu épaisses, on voit les bulles d'air renfermées dans les cellules se raccourcir considérablement, preuve de la faible tension du gaz du bois ; les cellules intactes absorbent très-facilement l'eau et très-difficilement l'air à travers leurs parois humides. M. von Höhnel a montré que, lorsqu'on coupe des rameaux sous le mercure, ce métal pénètre à une grande longueur dans les vaisseaux, surtout dans le bois jeune, malgré la résistance du frottement.

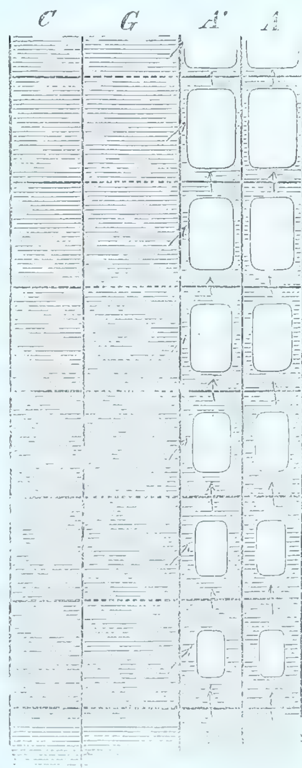


Fig. 4.

La très-faible tension de l'air du bois, souvent égale à 0,3 d'atmosphère, n'est possible qu'à deux conditions : 1° la paroi cellulaire humide doit être complétement ou presque complétement imperméable à l'air ; 2° l'eau amenée des racines ne doit pas dégager d'air. Ce sont là les propriétés les plus saillantes du bois conducteur ; nous allons voir dans quel rapport elles se trouvent avec le mouvement de l'eau lui-même.

La figure 4 représente schématiquement la structure du jeune bois. Les files de cellules A et A', déjà entrées en fonction, se sont en grande partie remplies d'air. Dans le vaisseau G, les

cloisons transversales sont en voie de dissolution; en C, on voit de très-jeunes cellules avec leur contenu liquide primitif. Si les cellules supérieures des files A A′ perdent de l'eau, la pression de l'air qu'elles renferment diminue, et l'eau des cellules sous-jacentes et du vaisseau voisin pénètre à travers les cloisons. Ces cellules se trouvent vis-à-vis de leurs voisines dans les mêmes conditions que les premières, et ainsi de suite. La différence de tension dans les cellules successives est évidemment égale à la résistance de filtration; comme certaines parties des cloisons sont extrêmement fines et délicates, elle doit donc être très-faible. Le poids (tendance à la filtration de haut en bas) de la colonne d'eau suspendue est anéantie en partie par les cloisons transversales, en partie par la résistance des chapelets d'air et d'eau contenus dans les vaisseaux. La succion doit ainsi se transmettre jusqu'à l'extrémité inférieure de la plante, ou jusqu'aux organes qui sont alimentés par la poussée des racines.

Ce qui est vrai pour l'eau du sol aspirée par les racines, l'est également pour le liquide contenu primitivement dans les jeunes cellules et dans les parties initiales dont se composent les vaisseaux.

Nous savons en effet que les vaisseaux du bois parfait ne renferment que de l'air, et que les cellules elles-mêmes contiennent à peine un peu d'eau. Ce liquide doit donc être remplacé dans le bois par de l'air. On comprend facilement, d'après ce qui précède, que l'air des vaisseaux doit avoir une pression supérieure à celle de l'air des cellules qui reçoivent l'eau des vaisseaux. Mais d'où vient cet air? pour quelle raison sa pression ne se met-elle pas finalement en équilibre avec celle de l'atmosphère? Je ne pourrais répondre à ces questions que par des hypothèses probablement très-contestables (1). La faible tension de l'air du bois est un fait d'autant plus étonnant, que les cellules ligneuses ont constamment besoin d'oxygène et

(1) L'air qui se montre dans les éléments du bois aurait-il été primitivement dissous dans le suc cellulaire? Dans ce cas, il s'y trouverait en quantité parfaitement fixe, relativement au volume de la cellule.

que l'eau soutirée du sol renferme une quantité d'air relativement forte. On pourrait croire également que les parties constituantes du bois, absorbant certains gaz, diminuent la tension de ces derniers (1).

Les partisans de la théorie de l'imbibition soutiennent que les bois conducteurs des plantes feuillues ne renferment que de l'air; mais ils ne peuvent pas expliquer pourquoi les cellules et même les vaisseaux du bois se remplissent en partie d'eau quand on empêche la transpiration (2).

Si à une époque quelconque les cellules du bois ne renfermaient que de l'air, ce gaz y aurait nécessairement la même pression que dans les vaisseaux, et la transpiration étant arrêtée, l'eau ne pourrait pas plus pénétrer dans ces cavités que dans celles d'un corps poreux imbibé, qui prendrait son eau d'en bas.

Il découle de là que les cellules conductrices de la séve ne sont jamais absolument remplies d'air, mais qu'elles doivent toujours renfermer une certaine quantité d'eau. Le liquide forme sur les parois une couche plus ou moins épaisse, qui entoure de toutes parts la bulle d'air.

Nous avons vu que la séve ascendante filtre de cellule en cellule sous l'influence de petites différences de pression; il est donc certain que dans les cellules supérieures, la pression est moindre que dans les cellules inférieures, et que le volume de la même quantité d'air prise en haut et en bas est en raison inverse des différences de pression et de la quantité d'eau renfermée dans les cellules.

Si la transpiration est supprimée, l'absorption et l'ascension de l'eau ne le sont pas pour cela. Les cellules supérieures enlèvent de l'eau aux cellules inférieures jusqu'à ce qu'un certain équilibre se soit établi dans toute la file de cellules. Les tensions ne peuvent pas arriver à s'égaler, parce que les résistances que l'eau

(1) Boehm, *Ueber die Zuzammensetzung der in den Zellen und Gefässen des Holzes enthaltenen Luft.* (*Landwirthschaftl. Vers. Stat.*, 21 T., 1878).

(2) Voyez Boehm, *Ueber die Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen* (*Landw. Vers. Stat.*, 20 T., 1877).

rencontre dans son transport croissent avec l'éloignement de la source d'eau. Lorsque les cellules ont absorbé autant d'eau que possible, les vaisseaux se remplissent à leur tour, jusqu'à ce que la tension de l'air dans ces éléments du bois soit la même que dans les cellules. L'équilibre existe entre les vaisseaux et les cellules, quand les tensions sont les mêmes dans les cellules et les vaisseaux pris sur une même coupe transversale. On comprend facilement pourquoi le bois est plus humide en hiver qu'en été, et pourquoi, quand la transpiration est active, la quantité d'eau diminue à mesure qu'on s'éloigne de la racine. Quand l'arbre se regarnit de feuilles, les cellules ligneuses des parties supérieures de la plante cèdent d'abord leur eau, puis les vaisseaux se vident sans qu'il soit nécessaire au préalable que les racines absorbent de l'eau.

J'ai déjà dit que les sections fraîches d'un grand nombre de plantes, par exemple du Platane, du Lilas, de toutes les Pomacées, absorbent avidement l'eau. Les physiologistes qui n'admettent que le mouvement de l'eau d'imbibition, croient expliquer ce fait en disant que, par suite de la transpiration, les parois cellulaires sont devenues très-pauvres en eau. Mais ce même phénomène se reproduit également en hiver sur des rameaux non gelés et dont le bois contient un volume d'eau supérieur à celui de toutes les parois cellulaires réunies. Sa véritable cause est évidente. Quand on coupe transversalement un rameau, le frottement s'oppose à ce que l'air pénètre au loin dans les vaisseaux, quoique les petites bulles d'air alternant avec des index d'eau (fig. 5) ne possèdent qu'une faible tension. Mais quand on met la section dans l'eau, le liquide doit

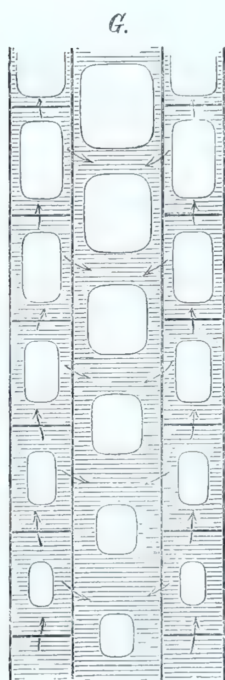


Fig. 5.

passer de cellule en cellule, et de là dans les vaisseaux, jusqu'à ce que la résistance de frottement soit égale à celle que l'eau doit vaincre en venant de la racine. L'eau sucrée ou salée, ou tout autre liquide mêlé à l'eau, se comporte comme l'eau pure.

Quand on veut faire ces expériences en été, il importe d'éliminer l'influence des vaisseaux comme tubes capillaires : pour cela, il suffit d'entailler le rameau sur les deux faces jusqu'au delà de la moelle; de cette manière tous les vaisseaux sont coupés.

On a cherché à mettre en relation avec une *vis à tergo* la richesse en eau du bois de plantes privées de leurs feuilles. Voici une expérience qui renverse cette opinion, déjà bien peu vraisemblable pour une foule d'autres raisons. Qu'on enlève en juillet ou en août, par conséquent au moment où la transpiration est le plus active, les feuilles de l'extrémité d'une branche de Tilleul ou d'Érable, les vaisseaux de cette partie seulement se remplissent d'eau et deviennent imperméables à l'air, tandis que les parties situées plus bas, garnies de leurs feuilles, persistent dans leur état primitif.

Lorsqu'on essaye de faire passer de l'air à travers un morceau, long de 40 centimètres, d'une branche de Marronnier privée de ses feuilles depuis quelques jours, on voit sortir des vaisseaux périphériques une couronne d'une substance mousseuse qui se conserve sans altération à l'air libre et dont la solution aqueuse ou alcoolique n'est pas fluorescente.

M. Vesque (1) a signalé, il y a peu de temps, un phénomène intéressant qui concorde parfaitement avec les causes de l'ascension de la séve. Lorsqu'on échauffe rapidement l'atmosphère qui entoure les feuilles d'une plante, l'absorption de l'eau par les racines diminue (d'une manière relative ou même absolue); quand au contraire on abaisse subitement la température de l'atmosphère, l'absorption augmente. C'est une con-

(1) Vesque, *De l'absorption de l'eau par les racines, dans ses rapports avec la transpiration* (*Ann. sciences natur.*, 6e série, t. IV, p. 89).

séquence nécessaire des changements de la pression de l'air du bois.

Par ce qui précède, je crois avoir démontré que, dans les tissus parenchymateux remplis de séve, le mouvement de l'eau provoqué par la transpiration est une fonction de l'élasticité des parois cellulaires et de la pression atmosphérique, et que dans les cellules à parois rigides l'élasticité de celles-ci est remplacée par celle de l'air renfermé dans les cellules.

Nous avons vu que la présence d'une certaine quantité d'air dans les cellules du bois conducteur de la séve, loin d'être un empêchement à l'ascension de la séve, est au contraire un facteur indispensable dans la production de ce mouvement.

On a voulu soutenir que les cellules ligneuses de plantes en pleine transpiration ne renferment que de l'air, qu'on n'y voit pas d'eau, et que par conséquent il n'y en a pas. Appuyé sur mes idées, sur les causes de l'ascension de la séve, j'ai déclaré il y a quinze ans, alors que tous les micrographes croyaient le contraire, que les fibres des Conifères sont closes et non ouvertes. La position de la membrane de la ponctuation aréolée dépend évidemment des différences de tension dans les deux cellules voisines et correspond à la direction du courant de la séve. La présence constante d'une certaine quantité d'eau dans les cellules ligneuses conductrices est une chose certaine, et nous pouvons déclarer d'avance erronée toute opinion différente.

Le mouvement de l'eau provoqué dans les plantes par la transpiration est un phénomène de filtration dépendant des différences de pression dans les cellules voisines.

DÉVELOPPEMENT

DU SAC EMBRYONNAIRE DES PHANÉROGAMES

ANGIOSPERMES

Par M. Julien VESQUE.

I

INTRODUCTION

Depuis les mémorables travaux de Hofmeister, l'étude du sac embryonnaire a subi un arrêt presque absolu. On s'est accoutumé peu à peu à considérer les découvertes de cet observateur et de ses devanciers comme des faits acquis à la science, et il n'était venu à personne l'idée de contester l'exactitude de ces descriptions ou de leur interprétation. Le sac embryonnaire lui-même était, pour ainsi dire, une cellule quelconque du nucelle, grandie démesurément, refoulant, comprimant les tissus de cette partie centrale de l'ovule. Dans cette cellule privilégiée on avait reconnu l'existence de deux appareils : l'un, micropylaire, composé des vésicules embryonnaires dont une seule se transformait en embryon ; l'autre, diamétralement opposé, composé des vésicules antipodes. De plus, le noyau primitif de cette cellule persistait jusqu'à la fécondation, et on le désignait sous le nom de noyau du sac embryonnaire.

On a bientôt senti le besoin de rattacher les phénomènes qui se produisent dans l'ovule des Phanérogames angiospermes à ceux que l'on connaissait dans les Cryptogames vasculaires et dans les Gymnospermes. On considérait le sac embryonnaire comme l'homologue d'une macrospore ; les vésicules antipodes représentaient un prothalle rudimentaire ; l'appareil micropy-

laire un *archégone*, et l'appareil filamenteux observé dans certaines Monocotylées devenait même le semblable de la cellule du canal des Cryptogames vasculaires.

Cette théorie séduisante a été assez universellement admise sans discussion, et elle a même été accueillie dans le célèbre *Lehrbuch* de M. J. Sachs.

Ce n'est que dans les derniers temps (1) que M. Ed. Strasburger, à la suite de ses remarquables recherches sur la formation et la division des cellules, a repris l'étude du contenu du sac embryonnaire, non-seulement à l'état adulte (prêt à recevoir l'imprégnation), mais à partir du moment où le sac embryonnaire commence à se différencier au milieu des tissus du nucelle. M. Strasburger était partisan de la théorie axile (Braun) de l'ovule; pour lui, le sac embryonnaire n'est autre chose que la cellule qui termine les files de cellules internes du nucelle. Les principales recherches de M. Strasburger ont été faites sur deux plantes dont les ovules, très-petits et garnis de téguments transparents, se prêtaient admirablement à l'observation : l'*Orchis pallens* et le *Monotropa Hypopitys*.

Les autres plantes, étudiées la plupart à l'état adulte, n'ont rien annoncé qui pût infirmer les résultats acquis dans ces deux espèces ou s'opposer à leur généralisation.

Le résultat est si inattendu, que du propre aveu de M. Strasburger (1), les Phanérogames métaspermes sont si isolées sous le rapport de l'organe femelle, qu'il est impossible de prévoir comment on pourra les rattacher désormais aux Gymnospermes (Archispermes) et aux Cryptogames (2).

(1) Ed. Strasburger, *Ueber Befruchtung und Zelltheilung*. Iena, 1878.

(2) *Loc. cit.*, 73 :

« ...Les phénomènes qui se passent dans le sac embryonnaire des Métaspermes sont si différents de ceux que nous connaissons dans les Archispermes, qu'on ne saurait plus trouver aucune liaison entre ces deux types.

» ...Je doute même qu'il soit possible de rattacher les Métaspermes aux Gnétacées, comme j'avais essayé de le faire auparavant.

» ...On n'arrive pas à un meilleur résultat en comparant ces organes aux macrospores des Cryptogames supérieures, à moins que de nouvelles recherches n'amènent la découverte de faits inattendus »

Voici aussi brièvement que possible le résultat des recherches de M. Strasburger. La cellule qui doit devenir le sac embryonnaire possède primitivement un noyau unique central. Ce noyau se divise en deux; chaque moitié du sac embryonnaire en reçoit un. Chacun de ces noyaux se divise en deux, puis encore en deux; de sorte que finalement il y a dans le sac embryonnaire $2 \times 2 \times 2 = 8$ noyaux, quatre dans la région supérieure micropylaire, quatre dans la région chalazienne.

Trois des noyaux de la région supérieure deviennent l'appareil sexuel, composé d'une vésicule embryonnaire et de deux synergides; trois des noyaux de la région chalazienne deviennent l'appareil antipode; le quatrième noyau d'en haut et le quatrième d'en bas cheminent l'un vers l'autre et se confondent au milieu du sac embryonnaire pour en constituer le noyau propre. Le nucléus définitif du sac embryonnaire n'est donc pas le même que le noyau primitif, comme le pensait Hofmeister.

Tel était l'état de la question, quand M. Warming (1) a publié dans ce recueil un important mémoire, *De l'ovule*, dans lequel il s'est attaché surtout à démontrer la nature foliaire de l'ovule. Il y étudie la manière dont se forme la cellule prédestinée qui doit fournir plus tard le sac embryonnaire, et, comparant cette cellule à son analogue dans l'anthère, il lui donne le nom de « cellule mère primordiale du sac embryonnaire ». Par son origine, cette cellule appartient à l'assise sous-épidermique du nucelle. Dans un type d'ovules, généralement à deux téguments ou dichlamydés, et appartenant, sauf exceptions, aux Monocotylées et aux Dialypétales, l'une (rarement plusieurs) des cellules de cette assise se divise transversalement en deux cellules superposées, dont l'inférieure est la cellule mère primordiale du sac embryonnaire, et l'autre continue à se diviser longitudinalement et transversalement. Dans un autre type d'ovules à un seul tégument, monochlamydés

(1) Eug. Warming, *De l'ovule* (*Ann. des sciences nat.*, 6e sér., t. VI).

(appartenant aux Dicotylées gamopétales), la cellule sous-épidermique devient directement, et sans se diviser, la cellule mère primordiale.

Au bout de quelque temps on trouve cette cellule divisée en deux, trois, quatre ou cinq compartiments superposés, par une, deux, trois ou quatre cloisons transversales ordinairement épaisses, collenchymateuses, gonflées, plus grandes que la section droite de la cellule mère cylindrique, et par conséquent bombées ou ondulées. Il est étrange que personne, avant M. Warming, n'ait vu ces cloisons, très-apparentes cependant dans une foule de plantes, surtout chez les Gamopétales. M. Warming les compare, en raison de leurs propriétés optiques, aux parois des cellules mères du pollen (cellules mères spéciales). Le nucelle, pour M. Warming, est l'homologue du sac pollinique, du sporange; pour lui, les vésicules embryonnaires sont des spores nées dans une cellule mère primordiale, qui devient sac embryonnaire par la dissolution des cloisons des cellules mères spéciales.

Voilà donc une perspective qui nous conduit bien loin de l'ancienne théorie, et qui fait prévoir une discordance complète avec le dernier travail de M. Strasburger.

Je crois pouvoir démontrer dans le présent mémoire que M. Warming a été bien guidé par sa sagacité, appuyé sur une connaissance profonde des phénomènes parallèles constatés dans l'anthère et dans le sporange.

L'étude du mémoire de M. Warming avait excité au plus haut degré ma curiosité. J'avais déjà, depuis plusieurs années, réuni un nombre considérable d'observations, qui portaient, à quelques exceptions près, sur l'état adulte du sac embryonnaire. Grâce aux encouragements du botaniste danois, je n'ai pas résisté au désir de poursuivre le sort de la cellule mère primordiale à partir du moment où elle s'est divisée en plusieurs compartiments superposés. Je publie aujourd'hui les premiers résultats de ce travail, bien qu'il soit loin d'être achevé.

Avertissement.

1. J'ai adopté le terme de *cellule mère primordiale du sac embryonnaire* avec la signification que lui donne M. Warming. Par abréviation, j'écrirai « la cellule *m* ».

Je donne le nom de *cellules mères spéciales* aux cellules qui résultent du cloisonnement transversal de la cellule mère primordiale.

2. Dans l'explication de presque toutes mes figures, *en haut* veut dire du côté du micropyle; *en bas*, du côté de la chalaze. En d'autres termes, la *région supérieure* correspond à la région micropylaire, la *région inférieure* à la chalaze.

3. J'adopte le terme de *synergides* créé par M. Strasburger pour désigner les vésicules auxiliaires appartenant à l'appareil sexuel micropylaire, vésicules qui n'ont pas la propriété de devenir elles-mêmes des embryons, qui ne jouent dans la fécondation qu'un rôle auxiliaire ou de transmission.

Je prie le lecteur de considérer le présent travail comme une notice préliminaire. Tout, sauf l'histoire d'un très-petit nombre d'ovules, y est incomplet. Je ferai remarquer qu'il existe, dans les transformations que subit la cellule mère primordiale, beaucoup plus de diversité qu'on ne pouvait le croire *à priori*, en jugeant seulement d'après l'état adulte (1). Il a donc fallu se restreindre. Avant tout, il s'agissait pour moi de rechercher de quelle manière les cellules mères spéciales composent plus tard le sac embryonnaire, et je crois donner ici, pour un certain nombre d'espèces, la solution de ce problème intéressant.

Quant aux divergences de ces observations avec celles de

(1) C'est l'opinion que MM. Müller et L.-R. Tulasne ont exprimée déjà en 1849, en ne tenant compte que de l'état adulte du sac embryonnaire. M. Tulasne dit (*Études d'embryogénie végétale*, dans *Ann. des sc. nat.*, 3ᵉ série, t. XII, p. 26) : « On doit admettre, je crois, avec M. Müller, que la reproduction sexuelle des » plantes phanérogames présentera vraisemblablement, dans les divers ordres » de végétaux, moins d'uniformité qu'on ne serait disposé à le croire, et que » cette variété même viendra peut-être un jour en aide à la délimitation et à la » définition des familles naturelles, quelque doute que M. Hofmeister élève au- » jourd'hui à cet égard. »

M. Strasburger, elles ne me paraissent être qu'apparentes. M. Strasburger n'a étudié complétement que des plantes à ovules très-petits, qui se distinguent en outre par des conditions biologiques particulières (Orchidées, *Monotropa*), dans lesquels je pense qu'il existe des phénomèmes de réduction ou de simplification. On verra que j'ai observé des faits analogues dans le *Butomus;* j'ai vérifié complétement les idées du savant botaniste d'Iéna dans le *Clematis*; ailleurs mes figures ont souvent une ressemblance frappante avec celles de M. Strasburger. Je suis convaincu que l'accord entre les faits que je vais exposer et les descriptions de M. Strasburger sera bientôt complet.

II

RÉSULTATS GÉNÉRAUX.

La cellule mère primordiale du sac embryonnaire appartient par son origine à l'assise sous-épidermique du nucelle. Selon que l'ovule est monochlamydé ou dichlamydé, l'une de ces cellules devient directement, sans division, la cellule mère primordiale du sac embryonnaire, ou bien elle se divise transversalement, et la cellule fille inférieure devient la cellule *m*, tandis que l'autre, se subdivisant en même temps que les cellules sous-épidermiques voisines, forme ce tissu à cellules alignées qui recouvre le sac embryonnaire. Quelquefois cependant il devient très-difficile, comme nous le verrons, de délimiter le sac embryonnaire du côté du micropyle.

La cellule mère primordiale se divise en un certain nombre (2, 3, 4 ou 5) de cellules-mères spéciales (1). Les parois qui les séparent sont ordinairement épaisses, blanches, gonflées,semblables aux parois du collenchyme, et M. Warming, qui les a découvertes, les compare avec raison aux parois des cellules mères du pollen. Ces cellules sont les homo-

(1) *Senecio*, pl. 11, fig. 2, 3, 4; *Lonicera*, fig. 15; *Lobelia*, pl. 12, fig. 2, 3; *Iris*, fig. 22; *Stellaria*, pl. 13, fig. 4; *Allium*, pl. 14, fig. 2; *Salvia*, pl. 15, fig. 1, 2; *Glechoma*, fig. 12; *Hemerocallis*, pl. 16, fig. 10; *Ornithogalum*, fig. 15.

logues des cellules mères spéciales des spores (1). Dans leur évolution primitive, elles devraient toutes produire des tétrades de spores; mais cela n'est généralement pas le cas. L'une d'elles seule, la supérieure, apicale, produit des spores sexuelles ; les autres, détournées de leurs fonctions ordinaires, se différencient et servent à d'autres emplois. Celle qui est située immédiatement au-dessous de la spore sexuelle dans l'immense majorité des cas, la subapicale ou deuxième, produit, pour ainsi dire, le sac embryonnaire proprement dit, c'est-à-dire la cavité ou cellule qui servira de récipient au jeune embryon; la cloison qui la sépare de la cellule précédente se dissout (2). Son noyau reste souvent simple et constitue directement le noyau propre du sac embryonnaire, ou il se divise avec production d'une tétrade complète ou incomplète. C'est dans ce cas surtout, je crois, que M. Strasburger a raison. Les deux cellules supérieures confondues renferment huit noyaux, dont trois deviennent l'appareil sexuel et trois l'appareil antipode; les deux autres fonctionnent comme les noyaux végétatifs des deux cellules. Or, comme celles-ci sont confondues et douées d'un accroissement commun, leurs centres organiques se confondent, et les noyaux eux-mêmes se rapprochent et peuvent se fusionner plus ou moins complétement.

Les autres cellules (3e, 4e, 5e), par suite de développement excessif de la cellule mère précédente, se trouvent ordinairement logées dans un cæcum chalazien cylindrique. Lorsque la partie inférieure du sac embryonnaire reste étroite (comme dans la plupart des Gamopétales), le développement de ces cellules s'arrête là jusqu'à la fécondation. Ce sont des antipodes d'une nature particulière, superposées (3). Suivant en cela

(1) On ne doit pas confondre ce cloisonnement avec celui que M. Strasburger a observé dans la grande cellule initiale de l'*Orchis*. D'après la description de cet auteur, la première cellule supérieure doit être considérée comme une cellule sœur et non comme une cellule fille du sac embryonnaire.

(2) *Senecio*, pl. 11, fig. 5, 6, 7, 8, 9; *Lonicera*, fig. 16; *Campanula*, pl. 12, fig. 13, 14; *Iris*, fig. 20, 23; *Stellaria*, pl. 13, fig. 5; *Salvia*, pl. 15, fig. 3.

(3) *Senecio*, pl. 11, fig. 8, 9, 10, 11; *Tragopogon*, fig. 12; *Lonicera*, fig. 16, 18; *Salvia*, pl. 15, fig. 6, 7, 8, 9.

le conseil de M. Strasburger, je donne à ces cellules le nom d'*anticlines*, pour les distinguer des vraies antipodes. Lorsqu'au contraire le sac embryonnaire s'élargit dans toutes ses parties, ces cellules mères peuvent toutes, ou la supérieure seulement, produire des tétrades (1) ; chacune des cellules filles devient alors une cellule antipode. Retournant ce que je viens de dire, je constate que ces cellules ne sont pas partout comparables au point de vue morphologique. Dans les Monocotylées et la plupart des Dialypétales, elles sont au moins en partie homologues aux spores. Dans les Gamopétales, l'évolution ne va plus aussi loin ; elles sont homologues aux cellules-mères des spores.

Enfin, j'ai étudié le développement de l'endosperme dans la Sauge. Dans cette plante et probablement dans toutes les Gamopétales dont l'endosperme se forme par la division du sac embryonnaire (Hofmeister), ce sont quelques-unes ou une seule des cellules mères spéciales qui produisent l'endosperme en se divisant dans toutes les directions. Dans la Sauge (pl. 15, fig. 3, 4, 6, 7, 8, 11), la première cellule mère spéciale produit les spores sexuelles (vésicule embryonnaire et synergide), la deuxième la cavité du sac embryonnaire, la troisième et la quatrième l'endosperme ; la cinquième reste vide et ne produit rien. Morphologiquement, l'endosperme est donc, dans ces plantes, jusqu'à un certain point, comparable à un prothalle stérile.

J'ai dit plus haut qu'il n'était pas toujours facile de distinguer les cellules mères spéciales des cellules sœurs du sac embryonnaire situées au-dessus. Au point où en sont mes observations, cela paraît arriver surtout chez les Monocotylées, dont la cellule-mère primordiale semble alors résulter directement, sans division, de l'agrandissement d'une cellule sous-épidermique. Dans ce cas, la cellule supérieure qui représente la *calotte* des autres Monocotylédonées, bien plutôt que la cellule mère spéciale apicale, tout en montrant parfois au moins des indices

(1) *Nothoscordum*, pl. 14, fig. 17 ; *Butomus*, pl. 15, fig. 26 ; *Hemerocallis*, pl. 16, fig. 10 ; *Ornithogalum*, pl. 16, fig. 15.

de divisions, est comprimée, gélifiée (1) : le plasma des cellules filles qu'elle produit se réduit dans chaque cellule à un filament, ou en forme un grand nombre. Je pense que c'est là l'origine d'un appareil qui joue un rôle auxiliaire dans la fécondation; mais mes observations ne sont pas assez nombreuses pour que je puisse m'exprimer avec certitude à cet égard.

On voit que nous assistons à l'un des plus beaux exemples de division du travail. Tous les petits organes équivalents à des cellules mères des spores ou du pollen s'adaptent à des fonctions différentes : l'une d'elles produit les véritables spores sexuelles; la suivante, s'arrêtant dans son développement, mais s'agrandissant énormément, devient une sorte de chambre incubatrice pour l'embryon et contient un ou plusieurs noyaux. Les autres, à l'état d'*anticlines* ou d'antipodes sans fonctions connues, peuvent dans certains cas produire des prothalles qui servent de nourriture à l'embryon et ne sont autre chose que de l'endosperme. Enfin, dans quelques cas, il est probable que la cellule qui surmonte la tétrade sexuelle se divise, qu'elle gélifie ses parois, et devient un appareil qui n'est autre chose, physiologiquement parlant, qu'une forme de tissu conducteur, comparable physiologiquement, mais non morphologiquement, à la *cellule du canal* des archégones (2).

(1) *Allium*, pl. 14, fig. 3, 4, 6, 7, 10, 14, 15.

(2) Hofmeister a vu souvent des faits qui se rapportent parfaitement à ce qui précède. Il figure, par exemple, deux sacs embryonnaires dans le *Scheuchzeria palustris* (*Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung*, II, pl. 25, fig. 17 et 19), dont la partie chalazienne rétrécie présente encore deux cloisons transversales bombées. Les deux cellules ainsi limitées sont des cellules mères spéciales. Voici ce qu'il dit à ce sujet :

« Chez quelques Monocotylédones, on trouve, peu de temps après le développement des vésicules embryonnaires, à la place du noyau primaire, une vésicule assez grande, entourée d'une membrane plus ou moins solide, et qui remplit souvent complétement la partie moyenne du sac embryonnaire; tantôt elle ne contient qu'un liquide clair, tantôt on y trouve un corpuscule absolument semblable au noyau primaire ou plusieurs noyaux. Il ne serait guère possible d'expliquer ce phénomène autrement que par la formation d'une cellule libre autour du noyau. Je l'ai observé d'une manière inconstante dans l'*Asphodelus luteus* (*Entst. des Embryo*, pl. 6, fig. 11), dans le *Funkia cœrulea* (*ibid.*, pl. 7, fig. 8, 10), le *Fritillaria imperialis* (*ibid.*, pl. 8, fig. 4 à 9), le *Tulipa Gesneriana*,

1. Gamopétales.

Les ovules monochlamydés des Gamopétales se prêtent mieux que tous les autres à l'étude des phénomènes qui se passent dans le sac embryonnaire avant la fécondation. Une seule des cellules mères spéciales donne naissance à différentes vésicules homologues aux spores. Les autres s'arrêtent presque toujours dans leur développement; les vésicules antipodes sont superposées et correspondent aux cellules mères spéciales dont le noyau est resté indivis. La marche rationnelle eût été tout autre. Le type primitif le plus voisin des Cryptogames se trouve dans les Monocotylées, où les tétrades peuvent se former dans toutes les cellules mères spéciales; puis viennent les Dialypétales, et enfin les Gamopétales, où une seule cellule forme une tétrade. Si je ne l'ai pas suivi dans cet exposé, c'est que mes observations les plus complètes portent précisément sur les Gamopétales.

J'ai choisi comme principal type de ce groupe une Composée, le *Senecio vulgaris* (1).

le *Gagea lutea* (*ibid.*, pl. 9, fig. 4, 5), l'*Iris pumila* (*ibid.*, pl. 10, fig. 3), le *Scheuchzeria palustris*. Dans la plupart de ces plantes, surtout dans les *Fritillaria* et *Tulipa*, la délimitation de cette vésicule devient déjà assez indécise longtemps avant la fécondation, sa membrane devient molle et diffluente. A ce fait se rattache cet autre, souvent observé chez les Monocotylédones, mais pas encore avec certitude chez les Dicotylédones, que le noyau primaire se dissout avant la fécondation, et qu'à sa place on en voit apparaître plusieurs autres secondaires : *Zostera marina*, *Anthurium longifolium* (pl. 9, fig. 7, 9), *Sorghum halepense* (12, fig. 8), *Allium odorum* (19, fig. 8 b), *Gagea lutea* (20, fig. 2), *Gloriosa superba* (20, fig. 5), *Tradescantia virginica* (24, fig. 18), *Asphodelus luteus* (*Entsteh. Embr.*, pl. 6, fig. 10), *Hemerocallis flava* (*ibid.*, 6, fig. 16), *Zea Maïs* (*ibid.*, 11, fig. 4, 6). »

Toutes ces observations, parfaitement exactes, trouveront plus loin leur véritable explication. La substitution de plusieurs noyaux secondaires au noyau primaire du sac embryonnaire n'est autre chose que la formation d'une tétrade dans la cellule qui fournit ici le sac embryonnaire proprement dit, la chambre incubatrice. Dans les Gamopétales, en effet, cela n'arrive pas ; cette cellule ne pousse pas son évolution jusqu'à la formation d'une tétrade.

(1) J'ai étudié la plupart des ovules sur des coupes. Je n'ai pas su apprécier le procédé de M. Strasburger, qui consiste à immerger l'objet à couper pendant un temps plus ou moins long dans l'alcool absolu ; le contenu du sac embryonnaire se trouve fixé par ce procédé, immobilisé, mais en même temps le plasma

La cellule mère primordiale est représentée dans la figure 1, pl. 11. Elle résulte directement de l'accroissement d'une cellule sous-épidermique; les tissus intérieurs du nucelle sont de bonne heure refoulés en arrière; en dessous et sur les côtés, elle est simplement recouverte par l'épiderme du nucelle. Son plasma hyalin, ou seulement marqué de légères inégalités de réfringence, renferme un noyau central ou excentrique pâle, homogène, dans lequel apparaît peu à peu une vacuole sous l'influence de l'eau de la préparation.

Dans la figure 2, nous trouvons la même cellule divisée en quatre compartiments superposés par trois cloisons transversales concaves vers le sommet du nucelle. Les deux supérieures sont gonflées, collenchymatoïdes, et ressemblent pour la forme à des lentilles biconvexes. L'inférieure est mince. Dans la figure 3, ces cloisons sont plus irrégulièrement onduleuses; celle du milieu présente en outre une lamelle moyenne très-nette. J'ai reproduit (fig. 4) un nucelle semblable où la cellule mère primordiale est divisée non en quatre, mais en cinq cellules mères spéciales (1).

Le contenu de ces cellules mères spéciales est de même nature que celui des cellules mères primordiales. Chacune d'elles renferme un noyau sphérique pâle, central. Pour faciliter les explications, je désignerai ces cellules par leur numéro d'ordre en commençant en haut. La cloison qui sépare les cellules 1 et 2 se dissout de bonne heure (fig. 5), mais les contenus protoplasmiques ne se mêlent pas en même temps. Dans la figure 5, ils sont probablement altérés; le protoplasma y est loin de remplir les cellules, il forme des masses compactes pariétales ou reliées aux parois par de minces filets. Dans la

perd à peu près complétement sa transparence. J'examine les coupes dans l'eau sucrée à 3 et 5 pour 100, et je ne tiens compte que de celles où le couteau a rasé les deux côtés du sac embryonnaire sans le toucher. Enfin, pour éviter toute erreur provenant d'un dérangement mécanique du contenu, j'ai toujours examiné un grand nombre de préparations du même objet.

(1) M. Warming figure le cloisonnement de la cellule mère primordiale dans cette même plante (*loc. cit.*, pl. 1, fig. 10). Il est assez singulier qu'il reproduise une cellule *m* subdivisée en cinq compartiments, quoique ce cas soit le plus rare.

figure 7, nous trouvons les plasmas des quatre cellules remarquablement différenciés; la cloison 1-2 a disparu. Le plasma dense, homogène, de la cellule 1 occupe une position tout à fait terminale; celui de la cellule 2, beaucoup plus riche en eau, présente un grand nombre de vacuoles. La cellule 3, comme dans la figure 5, est encore limitée de part et d'autre par de minces cloisons, dont l'inférieure (fig. 5) laisse à peine reconnaître le double contour. Le plasma de la cellule 3 (fig. 7) est dense, creusé de quelques vacuoles, dont la forme irrégulière dénote la consistance pâteuse du plasma.

A partir de ce moment, la cellule 2 s'élargit de plus en plus (fig. 8, 9, 10); son noyau persiste, entouré d'une masse de plasma qui se relie aux parois par des filaments simples ou ramifiés (fig. 9 et 10). En même temps la cellule 1 donne naissance (j'ignore si c'est par division ou autrement) à deux vésicules, une fertile, l'autre auxiliaire (synergide); la vésicule fertile (œuf) est attachée plus bas que la synergide. Généralement, celle-ci est plus petite que l'autre, mais les cas ne sont pas rares où elles sont parfaitement égales.

Les cellules 3 et 4, ou 3, 4 et 5, quand il y en a cinq, deviennent directement les cellules anticlines et restent superposées dans le cæcum cylindrique qui termine le sac embryonnaire du côté de la chalaze; je n'ai pas vu de véritables antipodes. Il est rare que la cloison 2-3 disparaisse complétement. Sur des préparations imparfaites, on la voit produire une saillie convexe du côté du sac embryonnaire, et on la prendrait aisément alors pour une cellule antipode unique. Il n'en est pas de même de la cloison 3-4, qui peut disparaître d'assez bonne heure. Dans la figure 6, les cloisons 2-3 et 3-4 ont laissé sur la paroi longitudinale des traces annulaires dont l'inférieure est déjà beaucoup plus effacée que l'autre. J'ai vu plus d'une fois les contenus des cellules 3 et 4 mêlés (fig. 10), mais je ne voudrais pas soutenir que c'est là le cas normal. Ordinairement au contraire, le plasma de la cellule 3 est bien différent de celui de la cellule 4. Il devient granuleux, opaque (fig. 8, 9, 11), et absorbe l'eau avec une avidité telle, que les parois, cédant

à la pression inférieure, se bombent de plus en plus (fig. 10, 11, 12). La paroi 2-3 peut même se rompre avec explosion, laissant échapper son contenu dans la cellule 2.

Il arrive parfois, mais d'une manière anormale, que la cellule 3 subit le même sort que la cellule 2, c'est-à-dire qu'elle se renfle énormément, simulant ainsi un second sac embryonnaire situé au-dessous du premier et séparé de lui par une mince cloison (fig. 13). Enfin, j'ai cru observer quelquefois deux noyaux juxtaposés dans la cellule 4. Quoique cela soit loin d'être impossible, je ne veux pas y attacher trop d'importance, car l'observation était chaque fois rendue très-difficile et très-incertaine par la forte réfringence du protoplasma.

Il est infiniment probable que toutes les Composées, à quelque sous-famille qu'elles appartiennent, se comportent de la même manière. J'ai figuré (fig. 12) la région chalazienne du sac embryonnaire presque adulte du *Tragopogon pratensis*, où la cellule 3, encore limitée par les deux cloisons transversales, renferme un gros noyau réfringent.

Je peux recommander particulièrement pour l'étude les ovules minces et comprimés du *Silphium perfoliatum*, dont le sac embryonnaire, vu sur la coupe antéro-postérieure, est quelquefois contourné d'une manière bizarre. J'ai étudié en outre les ovules adultes des *Gaillardia*, *Inula*, *Hieracium*, *Sonchus*, *Cichorium*, etc.

Les vésicules embryonnaires sont le plus souvent au nombre de deux, plus rarement de trois.

Dans le *Lobelia laxiflora* (pl. 12, fig. 1 à 8), les différentes transformations se succèdent dans le même ordre que dans le *Senecio*. La figure 1 montre la cellule *m* arrivée à un développement considérable et recouverte seulement par l'épiderme du nucelle. Sa position n'est pas toujours aussi franchement terminale; il arrive en effet que l'une des cellules sous-épidermiques voisines, au lieu d'être de bonne heure refoulée en arrière, reste engagée comme un coin entre la cellule *m* et l'épiderme, et s'avance même jusqu'aux environs du sommet du nucelle. La cellule *m* renferme un noyau sphérique pâle; elle

se distingue en outre par son plasma hyalin des autres cellules, qui contiennent de petites granulations.

Dans les figures 2 et 3, la cellule *m*, plus âgée, est divisée par trois cloisons épaisses dont les deux inférieures sont à peu près planes, la supérieure convexe.

Contrairement à ce que nous avons vu dans le *Senecio*, les parois sont ici gonflées uniformément sur toute leur étendue ou même plus fortement épaissies sur les bords. Chacune des cellules mères spéciales renferme un noyau muni d'un nucléole. Tous les noyaux sont primitivement placés sur une même ligne verticale, et ce n'est que plus tard, sous l'influence de l'eau, que deux d'entre eux ont pris sous mes yeux une position latérale. Tout le reste de la cellule était d'abord occupé par un plasma finement granuleux; mais bientôt j'ai vu se dessiner des vacuoles, et le plasma de la cellule 4 prendre une forme étoilée. La figure 3 représente le même sac embryonnaire que la fig. 2, mais un quart d'heure après la préparation de l'objet.

Les cellules mères spéciales sont généralement au nombre de quatre ; une seule fois je n'en ai trouvé que trois (1).

Dans les figures 4 et 5, j'ai représenté un sac embryonnaire plus âgé : la figure 4 est prise immédiatement après la préparation, la figure 5 plus tard. Il est bien évident que la cloison inférieure a disparu ; car l'emplacement des deux noyaux est encore bien visible. Il semble qu'il n'y ait eu que trois cellules mères spéciales. La cloison persistante étant comparée à celle que nous avons vue persister le plus longtemps dans le *Senecio*, il faudra admettre que dans ce cas la cellule 1 donne naissance à la fois à l'appareil sexuel et à la partie élargie du sac embryonnaire. Tout ce qui est situé au-dessous de la cloison très-fortement bombée représente l'appareil anticline, ainsi qu'il ressort de la comparaison avec la figure 8. Dans la figure 4, le

(1) Il arrive assez fréquemment que l'ovule, au lieu de se recourber, reste droit et que le tégument s'atrophie. M. Strasburger a pu tirer parti d'ovules semblables d'*Orchis pallens* (*Befruchtung*, etc., p. 33). Malheureusement ici, le sac embryonnaire paraissait mal conformé. Au milieu d'un plasma uniforme, j'y ai trouvé un gros et un petit noyau, et en bas deux noyaux juxtaposés.

noyau supérieur et le noyau inférieur ont conservé leur ancien aspect; mais à la place du noyau on trouve un certain nombre de globules très-réfringents, d'un aspect différent de celui des noyaux. Un filet protoplasmique très-dense occupe l'axe du sac et englobe tous les noyaux. La réfringence de ce filet est telle, qu'on le reconnaît aisément sans préparation aucune à travers l'épais tégument de l'ovule. Sous l'influence de l'eau, le noyau de la cellule supérieure (fig. 5) s'est désagrégé pour ainsi dire sous mes yeux. Les granules irréguliers qui résultent de sa décomposition ont de l'analogie avec ceux de la cellule 2; ils sont entourés d'une ligne circulaire très-déliée.

Dans les figures 6 et 7, les trois cloisons sont dissoutes, mais les quatre cellules ont conservé leur individualité; à la place des noyaux, on trouve un ou plusieurs corpuscules irrégulièrement arrondis, auxquels je m'abstiens de donner ce nom.

Dans la figure 6, tous les plasmas sont réunis entre eux par un filet axile; dans la figure 7, la cellule 1 est confondue avec la cellule 2, et la cellule 3 se relie à la cellule 4. Les noyaux sont distincts; la partie micropylaire du sac embryonnaire commence à se dilater. Il est assez singulier que la cloison 2-3, qui a disparu dans les figures 6 et 7, ait persisté dans la figure 8. J'ai souvent remarqué de ces irrégularités. Il semble qu'il soit peu important que cette cloison (et la suivante) persiste ou se dissolve; il est difficile de préciser une époque pour cette résorption, et cette inconstance explique peut-être comment Hofmeister a pu négliger complétement, dans sa théorie, des faits qu'il avait souvent mais irrégulièrement observés.

A un état plus avancé, le sommet du sac embryonnaire s'élargit un peu aux dépens de la couche de revêtement (1), et dans cette expansion on trouve l'appareil sexuel composé de deux ou trois vésicules que surmonte le noyau de la cellule 2. En bas, j'ai retrouvé les noyaux indivis des cellules 3 et 4.

On peut étudier très-facilement le sac embryonnaire adulte des Lobéliacées dans le *Siphocampylus Manettiæflorus*. Je lui

(1) M. Warming appelle ainsi l'assise particulière qui termine le tégument du côté du sac embryonnaire.

ai consacré les figures 9, 10 et 11 de la planche 12. Le sommet du sac embryonnaire prend souvent un développement tel, qu'il ne se contente pas d'amincir la couche de revêtement (fig. 11), mais qu'il la dépasse (fig. 9) en s'insinuant fort avant dans le micropyle. L'appareil sexuel se compose, dans tous les cas observés, de trois vésicules, une vésicule embryonnaire fertile, ou œuf inséré plus bas que les deux synergides accolées l'une à l'autre et généralement égales. (Les figures que j'ai reproduites pl. 12 n'indiquent pas nettement l'insertion de la vésicule embryonnaire.) Dans les figures 9 et 11, les deux synergides sont vues l'une à côté de l'autre; dans la figure 10, elles sont superposées. La position du noyau de la cellule 2 varie. Le plus souvent il est logé dans une masse de plasma qui recouvre l'œuf et se prolonge par une colonne axile jusqu'à l'autre extrémité du sac embryonnaire (fig. 9, la colonne plasmique n'existe pas); je l'ai trouvé une fois au milieu d'une étoile de plasma qui occupait environ le tiers inférieur du sac embryonnaire (fig. 11).

Les choses se passent de la même manière, plus nettement peut-être, dans les Campanulacées. Dans le *Campanula Medium* (fig. 12, pl. 12), la cellule *m* se divise en quatre cellules mères spéciales. Les cloisons restent minces, très-délicates, à peine plus fortes que les parois longitudinales du sac embryonnaire. La cloison 1-2 se dissout (fig. 13); la cavité qui résulte de la fusion des cellules 1 et 2 se renfle (fig. 14), et à la place du noyau unique de la cellule 1, on en trouve deux qui sont la première ébauche de l'appareil sexuel. La paroi même de tout le sac embryonnaire s'épaissit et se couvre de stries transversales (fig. 15), comme cela arrive du reste dans un grand nombre de Gamopétales. La couche de revêtement prend dans les Campanules un développement extraordinaire (fig. 17), et le contenu de ses cellules est déjà avant la fécondation coloré en jaune chamois (1). Les parois 2-3 et 3-4 persistent assez longtemps

(1) Après la fécondation, il se colore généralement en violet foncé. Cependant le plus souvent cette couche est sacrifiée pendant la maturation de la graine;

(fig. 14), mais la paroi 2-3 ne se retrouve plus dans le sac embryonnaire adulte. A la place de la cellule, j'ai retrouvé une masse de plasma granuleux (fig. 16) située sur la cellule 4 et ne présentant plus de noyau. On trouve quelquefois (fig. 16) deux noyaux dans la cellule 4.

Les vésicules embryonnaires sont au nombre de deux, attachées à des hauteurs inégales (1). Le noyau de la cellule 2 est indivis (fig. 16), placé au-dessous des vésicules embryonnaires et relié au plasma de la cellule 3 par un fort cordon plasmique; quelquefois on trouve à sa place trois (peut-être quatre ?) noyaux plus petits (2), assez écartés entre eux, l'un situé dans le cordon plasmique dans le voisinage de la cellule 3, les deux autres placés plus haut, au-dessous de l'appareil sexuel.

L'ovule du *Stylidium adnatum* ne paraît pas différer beaucoup des précédents. La cellule *m* (fig. 18, pl. 12) se divise en quatre cellules mères spéciales ; les cloisons sont plus épaisses que dans le *Campanula Medium*, mais moins que dans le *Lobelia*. Il peut arriver que les trois cloisons soient très-rapprochées les unes des autres, au milieu de la cellule mère, de manière à laisser les deux cellules terminales 1 et 4 beaucoup plus grandes que les autres.

Comparées aux types précédents, les Caprifoliacées présentent cela d'intéressant, que le sac embryonnaire prend une

subissant le même sort que toute la masse du tégument, ses cellules, aplaties et endurcies, ne forment plus qu'une pellicule uniforme au-dessous de l'épiderme de la graine. Dans le *Platycodon*, elle persiste; ses cellules suivent l'accroissement de la graine, les parois normales à la surface restant minces, et se chargent de gouttelettes graisseuses. Il est bien possible que la matière colorante qu'elles renfermaient joue un rôle dans la coloration des parois cellulaires de l'épiderme externe (*Platycodon*), brun ou violet.

(1) Comparez Hofmeister, *loc. cit.*, p. 638, pl. 26, fig. 3, 4, 5.

(2) Il devient parfois extrêmement difficile de compter des noyaux au milieu d'un plasma un peu réfringent. Dans la préparation dont il s'agit, j'en ai vu très-nettement trois, et chacun renfermait un seul nucléole. Il est possible qu'il y en ait quatre; cela ne me paraît pas très-grave. Hofmeister dit que le noyau du sac embryonnaire des Campanulacées renferme en général deux nucléoles. La seule figure de Hofmeister qui concorde assez bien avec mes observations est celle de *Glossocomia* (pl. 26, fig. 9), mais il n'y indique pas l'appareil antipode.

forme beaucoup plus arrondie, et dérange par conséquent la position des deux cellules mères spéciales qui constituent directement ou indirectement l'appareil antipode.

La cellule *m* du *Lonicera Caprifolium*, figurée en 14, pl. 10, n'offre rien de particulier. Son contenu est finement granuleux, tandis que celui des autres cellules du nucelle est hyalin. Son origine est trop évidente pour que j'insiste davantage sur ce sujet. Cette cellule se divise en quatre (fig. 15); les cloisons séparatrices, minces, sont espacées de manière à faire sentir qu'elles se sont succédé de bas en haut. Les petites granulations protoplasmiques permettent de distinguer les cellules appartenant à ce système de toutes les autres. Il faut avouer que sans ce caractère, pour ainsi dire fortuit, on pourrait se trouver très-embarrassé dans la délimitation des cellules descendant de la cellule mère primordiale. La paroi supérieure 1-2 se dissout; la partie résultant de la fusion des deux cellules 1 et 2 s'agrandit énormément et prend une forme subsphérique (fig. 16), munie du côté de la chalaze d'un prolongement cylindrique. L'orifice de celui-ci est occupé par la cellule 3, dont le plasma, comme dans les Composées, se différencie de celui des autres cellules en s'épaississant et en prenant une réfringence beaucoup plus grande.

La figure 17 représente un sac embryonnaire qui a probablement subi un arrêt de développement; non-seulement il n'a pas pu prendre une forme arrondie indépendante en refoulant les tissus environnants, mais les cellules du nucelle se sont agrandies à ses dépens et forment chacune une saillie dans sa cavité. Les deux noyaux supérieurs dépendent de la cellule 1, les autres sont restés indivis et représentent chacun l'individualité d'une cellule mère spéciale.

On voit en 18 le jeune sac embryonnaire normal du *Lonicera fragrantissima*, qui a déjà trouvé son chemin à travers l'épiderme du nucelle. Il renferme en tout cinq noyaux; les deux supérieurs, juxtaposés, descendent de la cellule 1. Le noyau de la cellule 2 occupe le centre du sac; les deux autres, anticlines, sont superposés dans la partie rétrécie chalazienne; l'un d'eux

(cellule 3) est aplati. Plus tard, le sac embryonnaire devient de plus en plus sphérique ; le petit prolongement chalazien s'élargit à son tour et finit par disparaître plus ou moins complétement. Les deux noyaux antipodes sont un peu dérangés de leur position primitive, deviennent tous les deux pariétaux, collatéraux. Finalement, on trouve à leur place deux ou trois vésicules antipodes parfaitement conformées, munies chacune d'un noyau. Dans le cas de trois vésicules antipodes, j'ignore si deux d'entre elles procèdent d'un seul noyau primitif, ou s'il y a eu cinq cellules mères primordiales, au lieu de quatre. J'avoue qu'il me reste quelques doutes à ce sujet, et je m'empresserai de reprendre cette étude aussitôt que la saison le permettra. Les vésicules embryonnaires sont au nombre de deux, égales ou inégales, insérées ordinairement à des hauteurs un peu différentes, libres ou accolées, de manière à avoir une face commune. Dans le *Lonicera fragrantissima*, et peut-être dans toutes les espèces à floraison hivernale, leur plasma se condense extérieurement en une membrane assez épaisse et résistante (fig. 19). Par les réactifs avides d'eau, on parvient non à séparer le plasma de cette enveloppe, mais à invaginer cette dernière, en diminuant le volume du contenu (1) (fig. 20).

La plupart des autres Gamopétales sont peu différentes des exemples que je viens de citer. Dans le *Valerianella pumila*, j'ai trouvé tantôt deux antipodes intimement accolées, tantôt une seule avec deux noyaux. Y a-t-il réellement là bipartition d'une cellule mère spéciale 3, ou glissement des cellules 3 et 4, par suite de l'élargissement du sac embryonnaire ? C'est ce que je ne saurais décider d'après mes trop peu nombreuses observations.

Dans le *Centranthus ruber*, la position collatérale des vési-

(1) Hofmeister a observé un fait analogue dans le *Crocus*, et dit avoir séparé le contenu de la membrane. M. Strasburger nie ce fait. Je dois me ranger du côté de ce dernier observateur. Ce qui est certain, c'est qu'il y existe une enveloppe plasmique (*Hautschicht*) plus dense que le contenu. Cette particularité se reproduit dans plusieurs autres plantes à floraison hivernale, les Hellébores par exemple.

cules antipodes me semble presque trop nette pour que je puisse préférer le glissement au commencement de la formation d'une tétrade. Peut-être y a-t-il lieu de voir si les phénomènes décrits par M. Strasburger ne s'appliquent pas à ces plantes. Il reste là un point intéressant à élucider ; dans tous les cas, le groupe des Caprifoliacées, Valérianées et Dipsacées offre déjà ce caractère d'infériorité vis-à-vis des Campanulacées, et surtout des Composées ; que l'arrêt de développement des cellules mères spéciales se produit plus tard, puisque la production de tétrades dans la cellule 3 ou 4, si elle n'est pas parfaite, semble au moins indiquée. Il se produit en effet dans l'une de ces cellules un petit appareil antipode comparable et morphologiquement homologue aux vésicules embryonnaires (1).

Dans les Rubiacées, le sac embryonnaire devient presque complétement sphérique. Les vésicules embryonnaires, relativement très-grandes, sont généralement au nombre de deux, souvent d'égales dimensions. Le noyau de la cellule 2, entouré ordinairement d'énormes grains d'amidon simples ou composés, est appliqué sur les vésicules embryonnaires (*Rogiera latifolia*). Dans le *Psychotria leucocephala*, je l'ai trouvé tellement adhérent à la vésicule fertile, qu'il ne s'en est pas détaché à la suite de la destruction mécanique complète de la préparation. Les vésicules antipodes sont au nombre de deux ou trois, beaucoup plus petites que les vésicules embryonnaires, rarement aussi grandes (*Pentas carnea*, une seule ?) A mon avis, il est probable qu'elles proviennent toutes d'une seule et même cellule mère spéciale. Dans l'*Ixora blanda*, dont le sac embryonnaire se rapproche davantage par sa forme de celui des Labiées, des Gesnériacées, etc., j'ai trouvé une fois quatre vésicules antipodes sphériques et égales.

La même incertitude persiste pour les Borraginées. Le jeune sac embryonnaire du *Borrago officinalis* (fig. 8, pl. 13) est

(1) Comparez Strasburger, *Befruchtung*, etc., p. 41 et 42, pour les *Scabiosa micrantha* et *atropurpurea*, pl. 9, fig. 4 et 5.

évidemment divisé en trois cellules, l'une donnant naissance à deux vésicules embryonnaires, celle du milieu qui constitue la majeure partie du sac embryonnaire, la troisième prenant directement l'aspect d'une vésicule antipode. Les cellules 1 et 3 projettent fortement leurs cloisons à l'intérieur de la cellule 2, et tout le sac embryonnaire prend une forme ellipsoïde régulière, qu'il doit échanger bientôt contre un profil triangulaire (fig. 9), grâce à un long prolongement cæcal qu'il produit sur le côté. Dans la figure 9 on trouve les deux vésicules embryonnaires complétement formées, insérées à des hauteurs différentes. Les vésicules antipodes me paraissent être superposées dans le sens de l'axe du sac embryonnaire et non vues l'une derrière l'autre. La même observation s'applique à celles du *Nonea flavescens* (fig. 10), où elles occupent un prolongement chalazien d'où elles bombent leurs parois vers le sac embryonnaire (1). La propriété d'absorber vivement l'eau a été observée ici comme dans les Composées. Une légère solution de potasse produit un effet plus violent encore (fig. 11).

Dans le *Symphytum tuberosum*, j'ai eu sous les yeux des vésicules antipodes bien franchement collatérales et si semblables aux vésicules embryonnaires, qu'il fallait s'orienter soigneusement dans la préparation pour ne pas confondre le pôle micropylaire du sac embryonnaire avec le pôle chalazien. Je ne doute pas que dans ce cas la cellule 3 ne donne naissance à l'appareil antipode, précisément de la même façon que la cellule 1 produit l'appareil sexuel.

Rien ne fait prévoir des différences notables dans le développement du sac embryonnaire des Scrofularinées, Solanées, Bignoniacées, Acanthacées, Gesnériacées, Gentianées, Apocynées, Asclépiadées et même des Ericacées et des Primulacées.

J'ai examiné des représentants de ces familles à l'état adulte seulement : *Tetranema mexicanum*, *Solanum Dulcamara*, *Tore-*

(1) Dans le *Nonea flavescens* j'ai trouvé trois vésicules embryonnaires, la fertile piriforme avec un noyau pariétal et une très-grande vacuole centrale ; les deux synergides y sont sphériques et remplies d'un plasma mousseux. Quelquefois l'extrémité effilée de la vésicule-œuf est finement striée dans la longueur.

nia asiatica et *Fournieri*, *Eranthemum nervosum*, *Tidæa gigantea*, *Columnea erythrophæa*, *Gesneria elongata*, *Gentiana acaulis*, *Vinca minor*, *Strophanthus dichotomus*, *Ceropegia Sandersoni* (1), *Primula japonica*, *Azalea indica* (souvent avec une seule vésicule antipode renfermant deux noyaux).

M. Strasburger a soigneusement décrit le sac embryonnaire du *Bartonia* (*Befruchtung*, p. 43), et il a redressé plusieurs erreurs de Hofmeister sur lesquelles je ne veux pas revenir. Cette plante n'a rien de particulier au point de vue qui nous occupe, et je ne m'y serais pas arrêté si je ne trouvais pas dans les dessins mêmes de M. Strasburger une occasion de discuter la nouvelle théorie de cet observateur, qui, je crois, ne peut s'appliquer à la grande majorité des Gamopétales. Supposons que le noyau primitif du sac embryonnaire soit divisé en deux, que chacun d'eux se soit encore divisé en quatre : il reste dans chaque extrémité du sac trois noyaux, le quatrième va rejoindre son congénère de l'autre pôle. Dans sa fig. 8, pl. 9, M. Strasburger reconnaît que cette fusion n'est pas encore faite, mais le quatrième noyau du côté antipode s'est un peu rapproché du centre. Dans la figure 9 il n'y a plus que trois noyaux antipodes dans deux cellules. M. Strasburger en conclut que là la jonction est opérée. Jusque-là l'observation n'est pas en désaccord avec la théorie; mais il n'en est pas de même des autres figures. En 10, les noyaux centraux étant unis, il ne reste plus que deux noyaux antipodes au lieu de trois, et de plus enfermés dans une seule cellule. Dans la fig. 11, au contraire, quoiqu'elle représente un état de développement beaucoup plus avancé et que les noyaux soient évidemment confondus (d'après M. Strasburger), il reste quatre noyaux dans l'appareil antipode. Je fais remarquer en passant que ces noyaux sont disposés en tétrade. Comme toute la démonstration de M. Strasburger repose précisément sur la fixité du nombre des noyaux, on ne peut invoquer en sa faveur des irrégularités. Pour ma part, je ne

(1) Les vésicules embryonnaires sont entourées, à l'état adulte, d'une telle quantité d'amidon, que leur disposition n'a pu être convenablement étudiée.

crois pas que ce nombre soit constant. Il n'y a qu'une tendance à la multiplication, et celle-ci peut s'arrêter à un degré quelconque.

Dans le *Sinningia Lindleyana*, M. Strasburger figure les antipodes au fond du cul-de-sac chalazien ; tout le reste de cet appendice est rempli d'un plasma hyalin que je considère comme le représentant de la cellule 3. Tout le petit appareil antipode constitue la cellule 4.

Cette interprétation est la même que celle que j'ai déjà donnée pour le sac embryonnaire des *Campanula*. M. Strasburger trouve sans exception trois vésicules dans l'appareil sexuel du *Torenia asiatica*. Quant à moi, j'en ai figuré trois dans d'anciens dessins ; mais cette année je n'ai eu que les fleurs du *Torenia Fournieri* qui m'ont présenté souvent deux (près d'un tiers des cas) vésicules embryonnaires.

J'ai étudié avec un soin particulier le développement du sac embryonnaire du *Salvia pratensis*. On sait que Hofmeister, étudiant le développement de l'endosperme, a reconnu dans les Gamopétales un type fort intéressant, où l'endosperme naît par la division même du sac embryonnaire ou d'une grande cellule qui remplit une partie du sac embryonnaire. Il s'agissait de voir quel rapport il pouvait y avoir entre les cellules mères spéciales et les cellules que Hofmeister a observées après la fécondation. M. Warming a eu soin de faire remarquer que les cloisons qu'il a découvertes dans le sac embryonnaire longtemps avant la fécondation n'ont rien de commun avec celles que Hofmeister décrit dans un grand nombre de plantes après la fécondation.

L'ovule du *Salvia* se prête fort bien à cette étude. J'ai consacré à cette plante les figures 1 à 11 de la planche 15.

Dans la figure 1, on voit la cellule *m* divisée en cinq cellules mères spéciales par quatre cloisons, dont quelques-unes au moins sont gonflées et collenchymatoïdes. Le nombre n'en est pas constant : dans la figure 2 il n'y en a que quatre, nombre que j'ai observé également dans le *Glechoma hederacea* (fig. 12). Chacune des cellules filles renferme un nucléus et un plasma

granuleux. La cloison 1-2 disparaît, et l'ensemble des cellules 1 et 2 s'agrandit beaucoup (fig. 3), traverse l'épiderme du nucelle, et constitue le sac embryonnaire proprement dit, dont les cellules 3, 4 et 5 ne forment plus qu'un appendice cylindrique inférieur.

Les plasmas des cellules 1 et 2 restent distincts, malgré la résorption de la barrière qui les séparait primitivement : celui de la cellule 1, très-dense et réfringent, remplit la concavité supérieure du sac ; celui de la cellule 2 ne forme plus qu'une étoile dont le centre est occupé par le noyau ; les cellules 3, 4 et 5 ont un plasma plus trouble.

La cellule 2 s'élargissant de plus en plus, la partie micropylaire du sac devient bientôt piriforme (fig. 4), tandis que l'autre moitié, séparée de la première par un isthme plus ou moins prononcé, conserve sa forme cylindrique, et se recourbe légèrement, suivant en cela la configuration de l'ovule (fig. 4, 5, 9). En même temps que ces changements s'opèrent, le plasma de la cellule 1 s'accroît ; à la place du noyau unique on en trouve deux (fig. 6), et bientôt deux vésicules embryonnaires jumelles apparaissent (fig. 4). Le plasma de la cellule 2 se charge d'une multitude de petits granules d'amidon. L'arrivée du boyau pollinique vient changer à la fois la forme générale du sac embryonnaire et la distribution des matériaux. L'amidon de la cellule 2 disparaît de nouveau (fig. 7, 8 et 11) ; les cellules 3, 4 et 5 commencent maintenant à s'accroître, atteignent et dépassent bientôt la largeur de la cellule 2 ; les cellules 4 et 3 se chargent d'une grande quantité d'amidon (fig. 6 et 7), tandis que la cellule 5 reste vide. Cet amidon se redissout peu à peu, et en même temps les deux cellules 3 et 4 se divisent transversalement et longitudinalement ; ces divisions se répètent, et il s'établit ainsi un complexus de cellules qui n'est autre chose que l'endosperme (fig. 11). Quelle est la nature morphologique de ce tissu ? Je crois qu'on ne doit pas hésiter à le comparer à un prothalle stérile s'adaptant à la nutrition de l'embryon unique, produit sexuel de cinq cellules mères de spores dont une seule a fourni une seule spore fertile, toutes les autres subissant des méta-

morphoses diverses pour concourir au développement de la cellule prédestinée (1).

Dans le *Salvia*, j'ai toujours retrouvé les cloisons 2-3, 3-4..., mais il est fort possible que cela ne soit pas toujours le cas dans les autres Labiées et les familles voisines, comme les Gesnériacées. Cela n'est pas nécessaire pour que ce que je viens de dire soit également applicable à ces plantes. L'individualité de la cellule ne réside point dans la membrane cellulosienne. Ces cloisons transversales ont, comme je l'ai dit plus haut, une forte tendance à se gélifier ; il n'est pas invraisemblable qu'entraînées par cette tendance, elles puissent en un moment donné disparaître à l'œil, sans que les plasmas se mêlent, et se rétablissent, se *rajeunissent* (*verjüngen*) plus tard avec de nouveaux caractères de solidité adaptés à des fonctions nouvelles.

Ce point important acquis, les dessins de Hofmeister parlent un tout autre langage. On reconnaît à première vue quelle variété il y a dans la formation de l'endosperme de ces plantes (2).

Apparemment, c'est tantôt l'une, tantôt l'autre, tantôt plusieurs des cellules mères spéciales qui fournissent l'endosperme. Avec peu de peine on arrivera certainement à traduire d'une manière plus précise la classification de Hofmeister (3).

Résumé. — Les Gamopétales avec leur ovule monochlamydé occupent le dernier échelon dans cette filiation de formes descendant des Cryptogames vasculaires.

La cellule mère primordiale se divise en cellules mères spéciales au nombre de trois (rarement), quatre ou cinq. Générale-

(1) Au moment même où j'étudiais cette plante, M. Warming m'a fait remarquer dans une lettre qu'il serait intéressant de reprendre l'étude de la formation de l'endosperme. Il est pour moi d'un grand poids qu'en discutant la valeur morphologique probable de ce tissu, le même terme de « prothalle stérile » soit sorti de sa plume.

(2) Comparez Hofmeister, *Neue Beiträge*, pl. 18, fig. 9, 11, 12, etc. ; — pl. 20, fig. 8 ; — pl. 22, fig. 12 ; — pl. 25, fig. 2, 3, 4, 23, etc. ; — pl. 27, fig. 10, etc.

(3) Page 536. Malgré la longueur de la citation, je crois devoir reproduire au moins dans ses traits principaux cette importante page de Hofmeister :

« Aussitôt après la fécondation, il se forme dans le sac embryonnaire une seule cellule relativement très-grande qui en occupe une partie étendue et dont les

ment une seule de ces cellules, la première, produit plusieurs cellules dont une seule fertile devient plus tard l'embyron. La deuxième cellule conserve son noyau indivis, s'élargit et constitue une sorte de chambre incubatrice; le noyau n'est autre chose que l'ancien noyau propre du sac embryonnaire. Les autres cellules mères conservent généralement leur forme primitive en restant logées dans un prolongement chalazien cylindrique du sac embryonnaire. Je les désigne dans cet état sous le nom de cellules anticlines. Plus rarement elles produisent un appareil antipode comparable morphologiquement aux vésicules embryonnaires.

Dans ce cas elles se prêtent à l'interprétation que M. Strasburger a donnée aux faits qu'il a récemment observés. Toutefois, dans quelques types il importe de reprendre cette étude et de voir par exemple si réellement les cellules anticlines peuvent, en glissant les unes sur les autres, simuler des antipodes, ou si l'on a affaire à de vraies antipodes.

L'endosperme de la plupart des Gamopétales (de toutes?) est un prothalle stérile développé dans une ou plusieurs de ces cellules mères spéciales.

2. Dialypétales.

Mes recherches sur les Dialypétales sont fort incomplètes; le peu que j'ai recueilli suffit cependant pour faire voir que

parois latérales s'appliquent étroitement sur la face interne du sac. Cette cellule se divise, etc. »

Plus loin :

« Toute la cavité du sac embryonnaire se comporte comme la cellule initiale de l'endosperme dans les *Asarinées*, *Aristolochiées*, *Balanophorées*, *Pirolacées*, *Monotropées*.

» Le sac embryonnaire paraît divisé en deux moitiés par une cloison transversale. La cellule fille inférieure se subdivise et forme l'endosperme, tandis que la supérieure reste intacte : *Viscum*, *Thesium*, *Lathrea*, *Rhinanthus*, *Mazus*, *Melampyrum*, *Globularia*.

» La cellule initiale occupe la partie médiane du sac embryonnaire : *Veronica*, *Labiées*, *Nemophila*, *Pedicularis*, *Plantago*, *Campanula*, *Loasa*.

» Elle en occupe l'extrémité inférieure : *Loranthus*, *Acanthus*, *Catalpa*, *Hebenstreitia*, *Verbena*, *Vaccinium*. »

dans les unes, peut-être les supérieures, les choses s'y passent à peu près de la même manière que dans les Gamopétales, et que dans les autres M. Strasburger a pleinement raison.

Dans la plupart des Dialypétales, l'ovule est dichlamydé, et, comme nous l'apprend M. Warming, la cellule *m* n'est pas simplement une cellule sous-épidermique du nucelle, mais la cellule initiale se divise d'abord en deux, puis la cellule fille inférieure devient la cellule *m*, tandis que l'autre se divise en même temps que ses voisines et se transforme avec elles en une sorte de coiffe composée de cellules régulièrement alignées, ou bien restant-indivise, s'écrase et disparaît.

Cependant cela n'est pas toujours le cas, et l'exemple que j'ai choisi, le *Stellaria Holostea*, forme précisément une exception.

Les figures 1 et 3 (pl. 13) montrent le premier état de la cellule *m*; elle est en apparence une simple cellule sous-épidermique, comme cela arrive dans les Gamopétales. Plus rarement, on voit la division transversale préalable (fig. 2 et 6). Un peu plus tard la cellule mère primordiale est divisée en cinq compartiments (fig. 4) par des cloisons très-fines. A l'état représenté par la figure 5, je n'ai pas trouvé de noyau dans les cellules; les cloisons elles-mêmes me paraissaient être de nature purement plasmique, mais elles ne tardent certainement pas à devenir cellulosiennes. Dans la figure 5, il en reste trois d'une épaisseur parfaitement mesurable; la cloison 1-2 est dissoute; la cellule 1 présente la vague indication de deux noyaux; celui de la cellule 2 persiste; le plasma est granuleux, tandis que dans les cellules 3, 4 et 5 il est hyalin et épais. On voit dans la même figure que les cellules épidermiques qui occupent le sommet du nucelle se sont divisées tangentiellement.

De nouvelles cloisons radiales viennent bientôt s'y ajouter, et concourent à former une coiffe (fig. 7) de nature purement épidermique, contrairement à ce qui arrive le plus souvent dans les Dialypétales et même dans les autres Caryophyllées (1).

(1) M. Warming (*l. c.*, pl. 7, fig. 23) a indiqué par une esquisse très-caractéristique la constitution du nucelle dans l'*Agrostemma Githago*. On y reconnaît facilement que le sac embryonnaire est recouvert d'une double coiffe, composée

La cellule 1 produit évidemment, comme dans les Gamopétales, l'appareil sexuel; la cellule 2, la cavité incubatrice; les trois autres cellules produisent les antipodes. J'ignore si une ou plusieurs d'entre elles se divisent plus tard.

La disposition des antipodes dans les Renonculacées est particulièrement instructive. Pour autant que mes observations me permettent de juger, les choses se passent dans les Dicotylées inférieures, comme le décrit M. Strasburger. Dans le *Clematis Vitalba*, la grande cellule sous-épidermique se divise transversalement. La cellule sœur supérieure se partage ensuite par une cloison verticale. Avant ou après cette division, une cloison transversale s'établit également dans la cellule sœur inférieure, qui n'est autre chose que la cellule *m*. Celle-ci ne produit que *deux* cellules mères spéciales; la cloison intermédiaire se dissout, et les deux noyaux contenus désormais dans une seule cellule donnent chacun naissance à une tétrade. Trois noyaux de la cellule supérieure forment l'appareil sexuel; trois de la cellule inférieure, l'appareil antipode. Les deux autres noyaux fonctionnent comme les noyaux végétatifs des deux cellules fusionnées; ils se rapprochent tous deux du centre du sac embryonnaire et finissent par se confondre. Dans chacune des deux cellules antipodes supérieures on trouve plus tard quatre noyaux, phénomène qui doit se rapprocher de la multiplication des noyaux du grain de pollen, découverte et décrite récemment par M. Strasburger. Dans l'*Eranthis hiemalis* ces cellules sont d'une taille énorme : tantôt on en trouve une seule avec un, deux ou plusieurs noyaux (fig. 14, pl. 13) ; tantôt il y en a deux obliquement accolées, et dans chacune d'elles il y a un ou quatre noyaux. J'ai eu le bonheur d'observer deux antipodes dans un sac dégagé de l'ovule (fig. 12). Ces deux cellules, très-obliquement accolées, étaient remplies d'un plasma fortement granuleux au milieu duquel on apercevait plusieurs noyaux; pour les compter, il a fallu les faire sortir des cellules,

extérieurement d'une hypertrophie de l'épiderme, et intérieurement des tissus provenant de la division de la cellule sœur externe du sac embryonnaire et des cellules sous-épidermiques voisines.

résultat que j'ai heureusement obtenu par une légère pression sur le petit verre de la préparation. Les deux protoplasmas (fig. 13) étaient étalés l'un à côté de l'autre, et chaque amas renfermait quatre noyaux égaux.

J'ai particulièrement étudié l'*Helleborus fœtidus;* car l'*Helleborus niger*, malgré son abondante floraison, ne produit pas ordinairement de bonnes graines, d'après l'observation de M. Decaisne. Dans l'*Helleborus fœtidus*, le sac embryonnaire est piriforme, allongé en pointe du côté chalazien. C'est dans ce prolongement que sont logées les deux vésicules antipodes, collatérales dans le jeune sac et procédant vraisemblablement d'une seule cellule ; elles sont d'abord beaucoup plus petites que les vésicules embryonnaires, mais les dépassent bientôt en volume, sans pourtant jamais approcher, même de loin, de la taille énorme de celles de l'*Eranthis*. Jamais je n'ai vu plus d'un noyau dans chacune d'elles. Comme dans tous les Hellébores, je n'ai trouvé que deux vésicules embryonnaires.

Dans l'*Helleborus Bocconi*, le sac embryonnaire adulte est sphérique ou même aplati dans le sens de l'axe du nucelle. Il y a une vésicule antipode ou deux accolées collatéralement, chacune munie d'un volumineux noyau. Les deux vésicules embryonnaires sont sphériques, égales en volume aux antipodes.

L'*Helleborus orientalis* est à peu près dans le même cas ; son sac embryonnaire n'est pas aplati, mais au contraire un peu piriforme.

Dans l'*Helleborus abchasicus*, j'ai trouvé deux ou trois antipodes accolées, de même taille ou plus grosses que les vésicules embryonnaires. Chacune d'elles renferme un seul noyau.

Comparé à ses exemples le *Myosurus minimus* n'offre rien de particulier. Il en est de même du *Ceratocephalus falcatus*.

Dans l'*Adonis vernalis*, j'ai trouvé une fois une seule vésicule antipode avec deux noyaux.

A juger d'après l'état parfait, la plupart des Dialypétales sont dans le même cas et peuvent offrir la même inconstance.

Dans le *Ribes malvaceum*, il y a deux petites vésicules anti-

podes ou une très-grande, qui a la propriété d'absorber avidement l'eau et de se gonfler de plus en plus; deux vésicules embryonnaires ordinairement accolées sur une large surface.

J'ai poursuivi le développement de la cellule *m* dans l'*Hypericum perforatum*. Elle résulte simplement de l'agrandissement d'une cellule sous-épidermique, sans division transversale préalable. Bientôt on la trouve partagée en quatre compartiments par trois cloisons qui paraissent se succéder dans l'ordre acropète. La dernière cloison formée se dissout de nouveau, et ainsi se constitue la partie supérieure du sac embryonnaire.

La division en cellules mères spéciales est d'une grande netteté dans l'*Illicium floridanum*.

Le même phénomène a été observé dans le *Saxifraga sarmentosa*. Là, malgré la petitesse de l'ovule, la cellule mère primordiale constitue la cellule fille inférieure d'une cellule sous-épidermique. Il y a quatre cellules mères spéciales.

M. Warming a figuré les cloisons transversales de la cellule *m* dans plusieurs Dialypétales, deux ou trois dans l'*Aristolochia Clematitis* (1), deux dans le *Ribes nigrum* (2), quatre dans le *Passiflora virens* (3).

Je pourrais multiplier beaucoup les exemples de sacs embryonnaires adultes. Il est relativement rare de trouver dans ces plantes un noyau du sac embryonnaire multiple. Les vésicules embryonnaires sont souvent au nombre de deux; il n'y a sous ce rapport rien d'absolument constant : on en trouve tantôt deux, tantôt trois dans la même espèce. J'ai souvent observé une relation entre le volume des synergides et leur nombre : dans le *Nuphar luteum*, par exemple, il y a tantôt une seule synergide, tantôt deux. Quand il y en a une seule, elle est à peu près du même volume que l'œuf, auquel elle est intimement liée ; celui-ci, inséré plus bas, se distingue de la synergide par son plasma beaucoup plus granuleux. Quand il

(1) Warming, *De l'ovule*, pl. 8, fig. 19 et 20.
(2) Ib., *ibid.*, pl. 7, fig. 14.
(3) Ib., *ibid.*, pl. 7, fig, 20.

y a deux synergides, chacune d'elles est loin d'égaler même la moitié de l'œuf.

A part les quelques cas à noyau central multiple que nous devons à M. Strasburger et dont je dirai un mot plus loin, je ne connais aucun sac embryonnaire de Dialypétale qui ne concorde avec ma manière de voir. Il est probable qu'on finira par découvrir la division en cellules mères spéciales au moins dans l'immense majorité des cas; mais jusqu'à présent je n'ai pas réussi dans les Crucifères (*Cheiranthus*).

Elles existent cependant dans le *Papaver somniferum*, où j'en ai vu trois. On trouve parfois dans l'ovule adulte un noyau double, les vésicules embryonnaires et les antipodes étant au nombre de trois.

M. Strasburger a trouvé dans le *Sinningia* des exceptions qui s'accordent très-mal avec sa théorie. En effet, que l'une des deux synergides avorte, cela serait encore très-admissible; mais que quatre cellules restent dans l'appareil sexuel après le départ d'un noyau, cela me semble bien difficile à admettre. Après tout, ce ne sont là que des exceptions, et seules elles ne sauraient infirmer une théorie reposant sur d'autres bases solides. Cependant ce qui est une exception dans le *Sinningia*, devient la règle dans le *Santalum*. Dans cette plante curieuse, admirablement étudiée par le professeur d'Iéna, il y a toujours quatre cellules, dans l'appareil sexuel, deux synergides et deux œufs (1).

Selon moi, nous assistons là à l'évolution complète de la cellule 1.

M. Strasburger pense que l'un des noyaux de l'appareil sexuel s'est divisé encore une fois après les autres, que les deux œufs procèdent d'une seule cellule primordiale; néanmoins ils sont aussi égaux et insérés aussi exactement à la même hauteur que pourraient l'être des cellules sœurs.

On pourrait me faire cette objection en apparence sérieuse, que je ne trouve de régulier que l'exception, et que par conséquent ma théorie doit être moins solide que celle qui s'appuie sur la règle admise.

(1) Voyez, Strasburger, *loc. cit.*, pl. 2, fig. 12, 13, 14 et 15.

Comme je l'ai déjà fait remarquer, il faudrait, pour que M. Strasburger pût démontrer l'exactitude générale de son opinion, du reste vraie pour un grand nombre de cas, que le nombre des noyaux fût constant. Pour être sûr qu'un noyau est parti du sommet du sac pour se diriger vers le centre, il n'y a qu'un critérium, c'est le nombre de noyaux restants. Si l'on est sûr qu'il y en a eu quatre et qu'il n'en reste que trois, on peut admettre qu'il en est parti un. Il serait difficile de trouver un argument sérieux dans la situation d'un ou plusieurs noyaux centraux.

Nous en trouverons non pas deux, mais un plus grand nombre dans plusieurs Monocotylées, entourés d'une fine membrane plasmique. Les corpuscules à deux noyaux que M. Strasburger figure à différentes reprises (très-nettement surtout dans *Viola*, pl. 9, fig. 1 et 2), sont pour moi d'une nature encore problématique. Je pencherais volontiers à les considérer comme des vésicules à deux noyaux, à l'instar d'un grand nombre d'antipodes qui renferment deux et même quatre noyaux dans une seule enveloppe.

A mon avis, ce nombre n'a pas d'importance : une cellule destinée organiquement à produire une tétrade peut fort bien, par réduction, ne produire que trois cellules filles dont une plus grande que les deux autres. Les intéressantes exceptions découvertes par M. Strasburger parlent donc en faveur de l'opinion que je soutiens.

En résumé, quoique les recherches soient encore incomplètes et peu nombreuses, je crois conclure que les Dialypétales se comportent tantôt à la manière des Gamopétales, tantôt comme le veut M. Strasburger. Les différences qu'on y observe s'expliquent aisément, quand on considère que l'évolution des cellules mères spéciales y fait ordinairement un pas de plus : les cellules 3, 4, etc., tendent à donner naissance à des tétrades plus ou moins complètes ; la cellule 2 elle-même pourrait ébaucher le même phénomène par la production d'un noyau multiple.

Selon moi, la différence réside en dernière instance en ceci,

que la cellule 2 peut fournir ou non une tétrade. Si elle en fournit une, les cellules 3, 4, etc., deviennent des anticlines, à moins qu'il n'existe que deux cellules mères spéciales (*Clematis*); les cellules 1 et 2 fusionnées renferment huit noyaux qui se comportent comme le dit M. Strasburger. Si elle n'en fournit pas, les choses se passent comme dans les Gamopétales, et la cellule 3 peut donner naissance à de vraies antipodes ou rester à l'état d'anticline.

3. Monocotylées.

La démonstration de M. Strasburger repose en grande partie sur les transformations qu'il a observées dans les Orchidées, et notamment dans l'*Orchis pallens*. Ne pouvant me procurer la même espèce fort rare dans la flore de Paris, j'ai étudié l'*Orchis galeata*, qui, je le pensais, ne devait pas différer de l'autre sous le rapport du sac embryonnaire. Malheureusement la saison était déjà un peu trop avancée pour qu'il fût permis de faire un aussi grand nombre d'observations que j'aurais désiré à cause de la contradiction où je me trouve vis-à-vis des travaux de M. Strasburger. Il ne faut pas croire pourtant que cette étude ait été superficielle; plusieurs centaines d'ovules ont passé sous mes yeux. Il est donc réservé à de nouvelles recherches de décider dans cette question litigieuse.

Voici, en quelques mots, comment M. Strasburger décrit le développement du sac embryonnaire : La grande cellule qui termine la file axile est d'abord irrégulièrement partagée en deux par une cloison transversale (1); la petite cellule supérieure est divisée encore une fois (2); ces deux cellules supérieures sont bientôt comprimées par la grande cellule interne, qui seule devient le sac embryonnaire. Peu de temps après on n'en trouve plus que des restes sous la forme d'une espèce de coiffe réfringente qui couronne le sac embryonnaire (3). C'est

(1) Strasburger, *loc. cit.*, pl. 2, fig. 73.
(2) *Ibid.*, fig. 74.
(3) *Ibid.* fig. 75.

uniquement dans cette dernière cellule que se passent les phénomènes liés à la formation des vésicules embryonnaires et antipodes, et du noyau propre du sac embryonnaire.

J'ai représenté (planche 16, fig. 1 à 7) les phases les plus importantes du développement du sac embryonnaire dans l'*Orchis galeata*. La cellule mère primordiale est représentée figure 1. Elle repose sur la file de cellules internes qui occupe l'axe du nucelle ; extérieurement, elle n'est recouverte que par l'épiderme ; le tégument interne commence à se former (1). Cette cellule s'accroît beaucoup en longueur, avec le nucelle, puis elle se divise vers son tiers supérieur par une cloison transversale qui devient souvent épaisse, collenchymateuse, et indique ainsi son analogie avec celles que nous avons observées dans les Gamopétales (fig. 2). La petite cellule terminale se divise encore une fois (fig. 3), et nous trouvons alors, à la place de la cellule *m*, trois cellules superposées dont chacune a son noyau. Mes figures 2 et 3 s'accordent assez bien avec les figures 73 et 74 de M. Strasburger. Mais ici commencent les divergences. Comme je l'ai fait jusqu'à présent, je désignerai ces trois cellules par leur numéro d'ordre. Les cellules 1 et 2, loin de s'aplatir et de disparaître, grandissent, s'élargissent (fig. 4) et refoulent l'épiderme du nucelle. Le plasma de la cellule 1 se condense en partie en une masse réfringente qui tapisse la concavité supérieure de cette cellule. Son noyau prend une forme allongée et va se diviser (?). La cellule 2 s'élargit (fig. 5), son plasma se condense, les deux cloisons transversales se dissolvent ; pendant quelque temps (fig. 5) on trouve encore le plasma de la cellule 2 parfaitement limité de part et d'autre, mais un peu de potasse suffit (fig. 5, 6) pour montrer que les cloisons n'existent plus. La masse plasmique réfringente de la

(1) Dans la figure 72, planche 2, où M. Strasburger figure cet état de développement, les deux téguments sont presque complétement formés. La cellule centrale est énorme, deux fois plus large que dans la figure 73, qui est censée représenter un état plus avancé. Les cellules épidermiques du nucelle sont fortement aplaties, tandis qu'elles sont plus hautes que larges dans la figure 73. L'objet de cette figure 72 n'est-il qu'un ovule mal conformé ? — Au fond, cela est peu important.

cellule 1 s'agrandit (fig. 6), et j'y ai vu très-nettement trois noyaux et vaguement un quatrième, situé plus profondément dans le plasma. Le noyau de la cellule 2 grandit et occupe le centre d'un espace clair entouré lui-même de plasma granuleux. Quant à la cellule 3, son plasma de plus en plus opaque rend l'observation très-difficile ; j'y ai vu (fig. 7) quatre noyaux disposés probablement en tétrade.

Assurément, le meilleur moyen de juger entre les observations de M. Strasburger et les miennes, est d'attendre le printemps, et de soumettre ces plantes à de nouvelles recherches. De mon côté, je m'empresserai de le faire, et je n'aurais même pas publié ce que j'ai vu dans les Orchidées, si ces observations ne s'accordaient pas aussi bien avec celles que j'ai décrites pour d'autres plantes. Je ne veux nullement attaquer les observations de M. Strasburger; jusqu'à nouvel ordre je m'abstiens d'un jugement catégorique, car j'avoue qu'en présence de l'affirmation du célèbre botaniste allemand, je crois plus convenable de réserver mon opinion. Les sacs embryonnaires qu'il figure en 83 et en 86 doivent être très-rares; je n'ai en effet rien vu de semblable. A la rigueur, le noyau libre inférieur de la figure 83 peut très-bien rester là où il est; la comparaison avec la figure 86 ne démontre pas qu'il se soit fondu avec son congénère. L'observation des antipodes est, on le sait, extrêmement difficile dans les Orchidées, et il est regrettable que M. Strasburger n'ait pas pu les figurer en 86 (1).

L'une des plantes qu'il m'a été le plus difficile de faire rentrer dans ma théorie est le *Butomus umbellatus*. On est vivement frappé de l'analogie qu'elle présente avec le *Clematis*. L'observation en est facile : les ovules insérés sur la paroi ovarienne étant très-nombreux, on peut en enlever un grand nombre avec la pointe d'une aiguille et les observer dans l'eau sucrée. La figure 13 (pl. 15) montre la cellule *m* à peine différente des autres cellules du nucelle; elle grandit rapidement (fig. 14) et prend

(1) Je regrette très-vivement de n'avoir pu me procurer le *Monotropa Hypopitys*. C'est une lacune à combler.

une forme ovoïde, terminée inférieurement en une pointe quand elle répond à la jonction de deux cellules sous-jacentes. Elle est séparée de l'épiderme du nucelle par une simple assise de cellules. Dans la figure 15, nous la trouvons divisée en deux par une paroi transversale médiane : la cellule fille supérieure se divise encore une fois par une cloison parallèle à la première (fig. 16). Il arrive souvent que la cellule médiane des trois occupe une place telle qu'il serait difficile de dire laquelle des deux cellules de la figure 15 s'est d visée (fig. 17). Une nouvelle division dans la cellule inférieure semble également indiquée (fig. 17) par la présence de deux noyaux. La cellule supérieure se divise maintenant longitudinalement par une cloison perpendiculaire au plan de symétrie de l'ovule (fig. 18). Les deux petites cellules ainsi formées n'entrent pas dans la composition directe du sac embryonnaire; elles sont comprimées, la cloison longitudinale devient onduleuse (fig. 21), ou bien les deux cellules s'arrondissent et figurent une petite couronne placée sur le sac embryonnaire (fig. 22). A peu près à l'époque de la fécondation et même avant, on ne les reconnaît plus que sous la forme d'un épaississement peu apparent de la paroi du sac embryonnaire (fig. 24). Il nous reste deux cellules, dont l'inférieure se divise transversalement (fig. 19) une fois ou même deux fois (fig. 23). Les cellules 1 et 2 (fig. 19) se confondent par la dissolution de la paroi qui les séparait. La cellule supérieure, divisée en deux, s'aplatit, et ses parois gonflées jouent sans doute un rôle dans la pénétration du boyau pollinique. Les parties essentielles du sac embryonnaire paraissent procéder uniquement des deux cellules 1 et 2, dont chacune produit plusieurs noyaux, parmi lesquels un seul ou deux réunis constituent le noyau propre du sac embryonnaire; je ne saurais dire comment (fig. 24, 25). Il serait fort intéressant d'essayer d'adapter à cette plante la théorie de M. Strasburger. Quoi qu'il en soit, les cellules suivantes ne changent pas (fig. 25, 23); ce sont de simples anticlines, qui renferment chacune un gros noyau unique, bien que quelquefois j'aie cru en reconnaître plusieurs.

Les *Liliiflores* se distinguent de tous les types que j'ai décrits

jusqu'à présent par leur complication extrême. Il se produit souvent des tétrades dans toutes les cellules.

J'ai étudié complétement le développement du sac embryonnaire dans l'*Allium fallax* et *odorum*.

La cellule mère primordiale (pl. 14, fig. 1) se divise en trois par deux cloisons, très-visibles dans la figure 2 et gonflées, collenchymatoïdes. La cellule supérieure doit être considérée comme le fait M. Warming, non comme une cellule fille, mais comme une cellule sœur du sac embryonnaire. Chacune des trois cellules inférieures renferme un gros noyau, mais on n'en voit pas dans la petite cellule, dont le plasma compacte est trop réfringent pour le laisser apercevoir. Plusieurs fois pourtant j'y ai vaguement aperçu deux ou trois noyaux (fig. 4 et 6). Il est probable qu'il y en avait quatre. C'est cette cellule qui ouvre au sac embryonnaire le chemin à travers l'épiderme du nucelle (fig. 4 et 10); d'autres fois on ne la reconnaît plus que sous la forme d'un simple épaississement (fig. 5). Bientôt la cellule 1 forme vers la cellule externe une saillie conique (fig. 3 et 7), et, s'agrandissant à ses dépens, réduit celle-ci à l'état d'un petit chapeau conique. Je n'ai pas vu de divisions s'accomplir successivement dans cette cellule; mais plus tard on la trouve divisée en plusieurs cellules étroites, effilées au sommet aigu du sac et s'arrondissant vers la partie inférieure (fig. 9, 11, 12). Elles sont probablement au nombre de quatre (1); chacune d'elles renferme un noyau entouré d'un peu de plasma (fig. 11 et 12). Mais celui-ci se réduit de plus en plus, les parois des cellules s'épaississent et se gonflent, et le tout ne forme plus au bout de quelque temps qu'une masse incolore, au milieu de laquelle on distingue, sous la forme de petits filets souvent terminés par un bouton, les restes du plasma comprimé.

J'ai réussi à faire une coupe longitudinale exactement axile

(1) Hofmeister figure autrement les cellules qui coiffent le sommet du sac embryonnaire (*Neue Beiträge*, pl. 21, fig. 8 et 9). Il les considère comme appartenant au nucelle, croyant qu'elles résultent d'une multiplication cellulaire localisée au sommet de cet organe.

à travers le sommet du sac embryonnaire, et je l'ai observée dans l'eau sucrée (fig. 14). Les deux synergides, très-inégales, sont remplies d'un plasma opaque, granuleux. La vésicule fertile, dérangée de sa position normale par le couteau, a pris une forme sphérique et renferme deux noyaux. Le sommet rétréci du sac embryonnaire et au fond duquel se trouvent fixées les synergides, est recouvert par cette coiffe réfringente limitée par un double contour.

De chaque côté on aperçoit un filet plasmique qui s'attache à la paroi externe dans le voisinage du sommet et se termine librement en bas par une partie arrondie et élargie. Quand j'ai ajouté à cette préparation un grand excès d'eau, cette coiffe s'est gonflée (fig. 15), le double contour a disparu, les filets protoplasmiques se sont même divisés. Le tout fait l'impression d'un appareil filamenteux très-simple. Il sera très-intéressant de poursuivre le développement de cette cellule ; je ne veux pas dire cependant que telle soit l'origine de l'appareil filamenteux proprement dit, dans les espèces où cet appareil filamenteux est très-compliqué.

Il reste trois cellules pour constituer le sac embryonnaire. Les deux cloisons se dissolvent (fig. 5), et chaque cellule développe plusieurs noyaux (fig. 6, 8, 9, 12 et 13). La cellule 1 fournit généralement trois vésicules (fig. 9, 6). Dans la figure 6, la vésicule fertile est déjà bien ébauchée, tandis que les deux synergides, les quatre noyaux de la cellule 3, et l'un de la cellule 4, sont encore englobés dans des granulations plasmiques. Il n'est presque pas possible de parler ici d'un noyau propre du sac embryonnaire ; il y en a deux (fig. 13), quatre (fig. 9), six (fig. 12) ; ils sont isolés dans une vésicule (deux noyaux dans la fig. 9), ou réunis deux à deux (fig. 13, 9, 12), ou quatre ensemble (fig. 12). Rien n'est plus variable. Quand il y en a plus de quatre, il est probable qu'une partie provient de la cellule 3. Le nombre des antipodes me semble être sujet aux mêmes variations. Il y a peu d'objets où la disposition tétraédrique des noyaux soit plus manifeste que dans la cellule 2. Dans la préparation figurée en 6, j'ai vu

à la fois les deux noyaux *a* et *b* ; le noyau *c* se voyait bien en enfonçant très-peu le tube du microscope ; pour voir le noyau *d*, il fallait mettre au point beaucoup plus bas.

Dans le *Nothoscordum fragrans*, si bien décrit par M. Strasburger, j'ai vu tantôt deux vésicules antipodes bien développées, tantôt trois (fig. 16, pl. 14), tantôt trois noyaux entourés de la même enveloppe, tantôt quatre (fig. 17).

Les choses me paraissent se passer de la même manière dans l'*Hemerocallis fulva* (pl. 16, fig. 8 à 12). J'y ai très-bien vu quatre vésicules antipodes parfaitement développées (fig. 11). Il en est de même pour l'*Ornithogalum pyramidale*, où j'ai observé une image qui présente beaucoup de rapports avec celles signalées par M. Strasburger (fig. 14, pl. 12). Il semble presque que dans quelques cas il n'y ait, comme dans le *Butomus*, que deux cellules qui concourent à la formation du sac embryonnaire.

J'ai reproduit (planche 14, figure 18 à 20) les premiers états du sac embryonnaire du *Lilium candidum*. L'état de la figure 20 dure très-longtemps. Plus tard on trouve le sac embryonnaire rempli d'un très-grand nombre de noyaux; j'en ai compté jusqu'à vingt. Toutes les cellules produisent ici des tétrades, sauf, dans quelques cas, celle qui doit produire le noyau du sac embryonnaire. Dans la région chalazienne on reconnaît la disposition des cellules mères spéciales à l'arrangement des noyaux et du plasma. Quoique cette plante ne fructifie pas et laisse par conséquent quelque doute sur la régularité du développement, elle me paraît fort intéressante, parce qu'elle offre dans la formation du sac embryonnaire toutes les complications possibles et qu'elle s'est probablement le moins éloignée de l'évolution typique des cellules mères spéciales.

Dans l'*Iris germanica* comme dans le *Butomus*, la cellule mère primordiale est séparée de l'épiderme du nucelle (pl. 12) par une cellule (fig. 19) qui ne tarde pas à s'aplatir ou s'épaissir en se gélifiant (fig. 22, 24). La cellule *m* se divise ordinairement en cinq, plus rarement quatre cellules mères spéciales. Les deux inférieures se confondent par la dissolution de la cloison sépa-

ratrice (fig. 20, 23). Souvent cette cloison laisse sur la paroi longitudinale l'empreinte d'un anneau peu saillant (fig. 22). La cellule 1 produit l'appareil sexuel, la cellule 2 le noyau du sac embryonnaire (fig. 20, 23). Les trois cellules mères inférieures (fig. 20, 22, 23), logées dans le prolongement chalazien, contiennent un plasma granuleux d'autant plus opaque que la cellule est plus voisine de la grande cavité du sac embryonnaire (fig. 20). Quand il n'y a primitivement que quatre cellules mères spéciales, il n'existe que deux anticlines (fig. 21). Plus tard les cloisons se gonflent (fig. 23) et finissent par se dissoudre (fig. 24). Il est possible que les noyaux anticlines, ou l'un d'eux, donnent naissance à plusieurs vésicules antipodes comparables aux vésicules embryonnaires; mais je n'ai pas poursuivi le développement jusque-là.

On peut appliquer aux Monocotylées ce que j'ai dit pour les Dialypétales. Ce sont ces plantes qui nous présentent le mieux l'évolution primitive des cellules mères spéciales. Dans le cas typique, toutes produisent des tétrades, et alors les cellules 1 et 2 fusionnées se comportent probablement comme dans le *Clematis* (*Butomus*), les autres restant ou non à l'état d'anticlines. Dans d'autres espèces, la cellule 2 ne produit pas de tétrade, et le sac embryonnaire se développe d'une manière plus simple. Les cellules 3, 4, etc., fournissent ou non de vraies antipodes.

CONCLUSIONS.

Quelque incomplètes que soient encore ces recherches, je me crois permis d'en tirer les conclusions suivantes :

1° Dans les Angiospermes, le sac embryonnaire de Brongniart ne se compose pas, comme dans les Gymnospermes, d'une seule cellule; il résulte au contraire de la fusion d'au moins deux cellules superposées et primitivement séparées par des cloisons.

2° Les cellules qui doivent composer plus tard le sac embryonnaire procèdent toutes d'une même cellule mère primordiale. M. Warming, qui les a découvertes, leur donne avec

raison le nom de cellules mères spéciales, en les comparant aux cellules mères du pollen ou des spores. Ce rapprochement est justifié par les caractères physiques des cloisons.

3° Quand l'évolution des cellules mères spéciales est complète, chacune d'elles donne naissance à quatre noyaux homologues aux quatre grains de pollen nés dans une même cellule mère.

4° Les variations que j'ai observées dans les différents types des Angiospermes dépendent de l'arrêt de développement plus ou moins précoce qui frappe les cellules mères spéciales.

5° La cellule 1 produit toujours l'appareil sexuel. Elle se confond avec la cellule 2 pour constituer ainsi la majeure partie du sac embryonnaire. Lorsque la cellule 2 produit une tétrade, les huit noyaux libres du sac embryonnaire se comportent comme le décrit M. Strasburger dans l'*Orchis* et dans le *Monotropa*. Ce fait s'observe dans certaines Monocotylées et Dicotylées dialypétales.

6° Les autres cellules mères spéciales (3, 4, 5) peuvent engendrer des tétrades. Chacune des vésicules est homologue au grain de pollen, et il convient de lui conserver le nom d'antipode. Lorsque ces cellules mères persistent dans leur état primitif sans produire des tétrades, elles simulent elles-mêmes des vésicules antipodes superposées, non juxtaposées. Elles en diffèrent au point de vue morphologique, et je leur ai donné le nom de *cellules anticlines*.

Cet état a été observé dans plusieurs Monocotylées, certaines Dicotylées dialypétales, et dans presque toutes les Gamopétales.

7° La cellule 2 paraît subir la première un arrêt de développement. Dans ce cas, son noyau devient directement le noyau propre du sac embryonnaire, et cette cellule ne produit pas de vésicule antipode. Ce fait, observé dans quelques Monocotylées et Dialypétales, devient la règle dans les Gamopétales, qui sont à ce point de vue les plantes les plus éloignées des Cryptogames.

8° Dans les Gamopétales (sauf de très-rares exceptions), la cellule 1 produit seule une tétrade complète ou incomplète, qui n'est autre chose que l'appareil sexuel composé de deux, de trois ou de quatre vésicules. La cellule 2 semble se charger du rôle végétatif du sac embryonnaire. Son noyau indivis devient le noyau du sac embryonnaire.

Les cellules 3, 4, 5 (ou 3, ou 3 et 4, selon le nombre des cellules mères spéciales) sont des anticlines, ou produisent des antipodes en divisant leur noyau.

9° Dans la plupart des Gamopétales, la formation de l'endosperme est liée au développement ultérieur, par division, d'une ou de plusieurs des cellules mères spéciales. Ces dernières étant homologues aux cellules mères des spores, il est permis de considérer l'endosperme de ces plantes comme un prothalle femelle stérile.

EXPLICATION DES PLANCHES.

(Toutes les figures ont été dessinées à la chambre claire. Celles dont une partie n'a pu être figurée sont marquées d'un astérisque.)

PLANCHE 11.

Fig. 1 à 11 et 13. — *Senecio vulgaris.*

Fig. 1. Jeune nucelle. La cellule mère primordiale est indivise ; elle renferme un plasma hyalin et un noyau au milieu duquel il s'est formé une vacuole. — Gross. 600.

Fig. 2 à 4. La cellule *m* est divisée en quatre compartiments (fig. 2 et 3) ou en cinq (fig. 4). Les cloisons sont collenchymateuses et présentent quelquefois une lamelle moyenne (fig. 3). — Gross. 600.

Fig. 5. La cloison 1-2 est dissoute, les cloisons 2-3 et 3-4 persistent. — Gross. 300.

Fig. 6. Restes annulaires des cloisons 2-3 et 3-4 sur la paroi longitudinale du sac embryonnaire. — Gross. 300.

Fig. 7. Différents états des divers contenus protoplasmiques : celui de la cellule 1 est dense et réfringent ; celui de la cellule 2 aqueux et rempli de vacuoles : la cloison qui séparait ces deux cellules a disparu ; — celui de la cellule 3 est dense avec quelques vacuoles irrégulières ; celui de la cellule 4 est devenu pariétal. — Gross. 300.

Fig. 8. Jeune sac embryonnaire entouré de l'assise de revêtement. La cavité commune des cellules 1 et 2 commence à s'élargir. Le plasma de la cellule 3 devient granuleux et opaque. — Gross. 300.

Fig. 9. Les deux vésicules embryonnaires sont formées; au-dessous se trouve le noyau de la cellule 2. La cellule 3 est remplie d'un plasma granuleux, tandis que le contenu de la cellule 4 est hyalin. — Gross. 300.

Fig. 10. Même objet. Le noyau de la cellule 2 est pariétal, de même que le réseau plasmique qui l'entoure. Les cellules 3 et 4 sont ici confondues. — Gross. 300.

Fig. 11. Les cellules 3 et 4 après l'action prolongée de l'eau. La paroi 2-3 s'est fortement bombée vers la grande cavité du sac embryonnaire. — Gross. 300.

Fig. 13. Sac embryonnaire adulte anormal, dans lequel la cellule 3 s'est renflée comme la cellule 2 et simule un second sac embryonnaire situé au-dessus du premier. — Gross. 150.

Fig. 12. — *Tragopogon pratensis.* — Les deux cellules antipodes superposées. — Gross. 300.

Fig. 14 à 17. — *Lonicera Caprifolium.*

Fig. 14. Jeune nucelle avec la grande cellule mère primordiale. — Gross. 600.

Fig. 15. La cellule *m* est divisée en quatre cellules mères spéciales. — Gross. 600.

Fig. 16. Les cellules 1 et 2 se sont confondues et fortement élargies. L'appareil sexuel commence à se former. La cellule 3 se distingue par son plasma dense. — Gross. 600.

Fig. 17. Sac embryonnaire probablement anormal, après la dissolution de toutes les cloisons. — Gross. 600.

Fig. 18 à 20. — *Lonicera fragrantissima.*

Fig. 18. Jeune sac embryonnaire après la dissolution des cloisons. L'appareil sexuel commence à se former. Les noyaux des cellules anticlines sont superposés. — Gross. 300.

Fig. 19. Vésicules embryonnaires adultes entourées d'une couche plus dense simulant une membrane. — Gross. 300.

Fig. 20. Vésicule embryonnaire traitée par le chlorure de calcium; le contenu s'est contracté et la membrane s'est invaginée. — Gross. 300.

PLANCHE 12.

Fig. 1 à 8. — *Lobelia laxiflora.*

Fig. 1. Jeune nucelle; la cellule *m* se distingue des autres par l'absence de granulations.

Fig. 2. La cellule mère est divisée en quatre compartiments superposés par trois cloisons transversales, épaisses, gonflées, réfringentes, aussi épaisses ou même plus épaisses sur les bords qu'au milieu. Le plasma des deux cellules moyennes est devenu pariétal, et le centre est occupé par une grande vacuole (ce changement s'est peut-être produit pendant la préparation). Celui des deux cellules extrêmes occupe toute la cellule; dans toutes il est granuleux, surtout dans le voisinage du nucléus. — Gross. 600.

Fig. 3, 4. Le même sac embryonnaire après un séjour d'un quart d'heure environ dans l'eau de la préparation. Le plasma est devenu de plus en plus granuleux. Dans la cellule 4 il s'est formé des vacuoles de manière à donner au plasma la forme d'une étoile à cinq branches. — Gross. 600.

Fig. 4 et 5. Jeunes sacs embryonnaires frais et conservés pendant quelque temps dans l'eau. — Gross. 600.

Fig. 6. État plus avancé. Toutes les cloisons sont dissoutes. Les cellules 3 et 4 sont réunies d'un côté pour former plus tard deux vésicules anticlines; d'un autre côté les cellules 1 et 2 se sont rapprochées de l'extrémité micropylaire. Le noyau de la cellule 1 semble se résoudre en un certain nombre de granulations. — Gross. 600.

Fig. 7. Même objet. Tous les noyaux sont réunis par une colonnette plasmique axile. — Gross. 600.

Fig. 8. Sac embryonnaire plus âgé. Les cellules 3 et 4 se sont unies et la masse protoplasmique commune se limite nettement vers l'intérieur du sac embryonnaire. Les cellules 1 et 2 sont encore dans le même état. — Gross. 600.

Fig. 9 à 11. — *Siphocampylus Manettiæflorus*. — Gross. 600.

Fig. 9. Région supérieure d'un jeune sac embryonnaire en partie entouré de la couche de revêtement.

Fig. 10. Même objet. Les deux synergides se recouvrent.

Fig. 11. Sac embryonnaire adulte. Le noyau de la cellule 2 est exceptionnellement situé dans la moitié inférieure du sac.

Fig. 12 à 14. — *Campanula Medium*. — Gross. 600.

Fig. 12. Nucelle et tégument d'un jeune ovule. La cellule mère primordiale est divisée en quatre compartiments.

Fig. 13. Jeune nucelle. La cloison 1-2 est dissoute. Le contenu de la cellule 1 n'a pu être dessiné.

Fig. 14. La partie supérieure du sac, composée des cellules 1 et 2, commence à s'élargir. On voit deux noyaux dans la cellule 1.

Fig. 15 à 17. — *Campanula rotundifolia*.

Fig. 15. Épaississement de la paroi longitudinale du sac embryonnaire. — Gross. 600.

Fig. 16. Sac embryonnaire adulte. La paroi 2-3 est probablement dissoute; la cellule 3 n'est représentée que par une masse de plasma. La cellule 4 renferme deux noyaux. — Gross. 300.

Fig. 17. Coupe transversale d'une partie du jeune ovule. Sac embryonnaire entouré de la couche de revêtement. — Gross. 600.

Fig. 18. — *Stylidium adnatum*. — Nucelle et tégument de jeune ovule. La cellule *m* est divisée en quatre cellules mères spéciales.

Fig. 19 à 24. — *Iris germanica*. — Gross. 300.

Fig. 19. Coupe longitudinale d'un jeune ovule avec ses deux téguments; l'interne est composé de deux assises de cellules, l'externe de trois. La cellule mère primordiale a été formée par une cellule sous-épidermique qui s'est divisée tangentiellement et dont elle est la cellule fille interne. La cellule fille externe s'est à son tour divisée par une cloison radiale (sur la coupe longitudinale). Son développement s'arrête là ; elle est destinée à disparaître tôt ou tard par la compression qu'elle subit entre le sac embryonnaire et l'épiderme.

Fig. 20. Jeune sac embryonnaire très-normalement développé. Les cellules sous-épidermiques sœurs de la cellule mère primordiale ont encore leur forme primitive. Les cellules 1 et 2 sont confondues. Le noyau de la première, situé dans une masse de plasma granuleux vaguement délimitée, est remplacé par

deux noyaux juxtaposés. Le noyau de la cellule 2 sphérique, pâle, est situé un peu plus haut. Cette cellule s'est beaucoup agrandie et constitue le sac embryonnaire proprement dit. Les trois autres cellules, que j'appelle anticlines, occupent la partie supérieure, cylindrique, du sac embryonnaire ; elles sont remplies d'un plasma granuleux qui semble devenir opaque au contact de l'eau. La cellule 3 est plus opaque que la cellule 4, qui l'est plus que la cellule 5.

Fig. 21. Partie chalazienne d'un sac embryonnaire qui ne renfermait exceptionnellement que quatre cellules. La cellule 3 renferme ce même plasma dense et réfringent que nous avons rencontré plusieurs fois ailleurs ; il est creusé d'une grande vacuole centrale. La cellule 4 ne présente que du plasma hyalin avec un noyau pâle.

Fig. 22. Jeune sac embryonnaire aplati qui a déjà comprimé ses cellules sœurs. Celles-ci ne sont plus visibles que par une couche de cellulose cornée située entre le sac embryonnaire et l'épiderme, couche du reste marquée de quelques lignes qui ne sont autre chose que les anciennes cavités cellulaires : c'est du vrai parenchyme corné.

Le rasoir a entamé tangentiellement la partie inférieure du sac embryonnaire, il a enlevé les vésicules embryonnaires. Le plasma floconneux et le noyau de la cellule 2 sont restés. La paroi cylindrique de la grande cavité constituée par les cellules 1 et 2 porte un peu au-dessous du milieu de sa hauteur un léger épaississement cellulosique annulaire, reste de la cloison qui séparait primitivement les cellules 1 et 2.

Les cellules 3, 4 et 5 possèdent les mêmes caractères que dans la figure 20.

Fig. 23. A la place des deux noyaux, on trouve maintenant deux grosses vésicules embryonnaires dont le plasma constitue l'enveloppe et dont le centre est occupé par une grosse vacuole. La cellule 2, qui forme la majeure partie du sac embryonnaire, a pris un développement extrême. Les cellules 3, 4 et 5 sont toujours dans le même état et occupent une place relativement de moins en moins considérable. Les cellules qui séparaient le sac embryonnaire de l'épiderme ont disparu.

Fig. 24. Sac embryonnaire et parties environnantes du nucelle. Les cellules sœurs de la cellule mère primordiale se sont aplaties et en même temps épaissies (peut-être plutôt gonflées). Toutes les cloisons ont disparu dans le sac embryonnaire. Les vésicules embryonnaires sont parfaitement développées et surmontées du gros nucléus du sac embryonnaire empâté dans une masse protoplasmique qui le relie à différentes parties du sac embryonnaire. Les vésicules antipodes sont simplement à l'état de noyaux libres.

PLANCHE 13.

Fig. 1 à 7. — *Stellaria Holostea.*

Fig. 1. Coupe longitudinale d'un jeune ovule. Les téguments sont d'abord unilatéraux. Le tégument interne est déjà assez développé ; il se compose de deux assises de cellules ; la dernière cellule de l'une d'elles, passant pardessus l'autre, simule une cellule apicale (voyez, à ce sujet, Warming, *De l'ovule*). Le tégument externe commence seulement à s'ébaucher. La cellule

mère primordiale du sac embryonnaire paraît être la transformation directe de l'une des cellules sous-épidermiques. Son plasma est légèrement mousseux ou vacuoleux et elle renferme un nucléus sphérique pâle. — Gross. 300.

Fig. 2. La cellule sous-épidermique, qui est restée indivise dans la figure 1, se coupe ici par une cloison transversale ; la cellule fille interne devient la cellule mère primordiale, et l'externe s'oblitère pour constituer une coiffe qui recouvre la cellule centrale. Tel est le vrai type des ovules dichlamydés (Warming). M. Warming figure ainsi l'ovule de l'*Agrostemma Githago;* ce tissu est ensuite recouvert d'une autre coiffe qui provient d'une hypertrophie de l'épiderme. Cet ovule est plus jeune que celui qui est représenté dans la figure 1. Le tégument interne est encore très-petit. L'externe ne se reconnaît que par l'agrandissement d'une des cellules épidermiques. — Gross. 300.

Fig. 3. Nucelle très-jeune plus fortement grossi. La cellule mère spéciale se distingue par sa taille parmi les cellules sous-épidermiques, qui sont de chaque côté refoulées et comprimées. Elle renferme un nucléus sphérique et un plasma hyalin chargé d'une petite quantité de granules dont quelques-uns assez gros. — Gross. 600.

Fig. 4. Ovule plus âgé. Les deux téguments sont visibles dans la région interne de l'ovule courbé. Extérieurement, j'ai dessiné seulement le contenu du tégument interne. La cellule mère primordiale a refoulé inégalement les tissus du nucelle, de sorte qu'elle occupe une position un peu excentrique. Elle est divisée en cinq compartiments par quatre cloisons minces. Je n'ai pas vu de noyaux dans les cellules qui ne contenaient que quelques très-petites granulations. — Gross. 300.

Fig. 5. Ovule plus âgé. L'épiderme du nucelle s'est divisé tangentiellement dans la région apicale. Les cellules filles 1 et 2 sont confondues, et la cavité unique qui en résulte, renferme, outre le noyau de la cellule 2, deux noyaux qui sont les premières ébauches des vésicules embryonnaires. Le plasma des trois autres cellules (anticlines) est beaucoup plus compacte et réfringent. — Gross. 300.

Fig. 6. La cellule mère primordiale est surmontée d'une petite cellule qui correspond peut-être à celle qui est détachée (fig. 2) et qui s'est arrêtée dans son développement. — Gross. 300.

Fig. 7. Sommet d'un nucelle plus âgé. L'épiderme est non-seulement divisé tangentiellement, mais dans une de ses cellules il s'est établi une cloison radiale dans la cellule fille externe. — Gross. 600.

Fig. 8 et 9. — *Borago officinalis.*

Fig. 8. Jeune sac embryonnaire. La cellule mère spéciale n° 2 s'est énormément renflée et constitue la majeure partie du sac. Son plasma s'est réuni en une colonnette axile qui tient le nucléus suspendu en son milieu et rattaché aux parois par des filets plasmiques. La cellule 1 est nettement délimitée, quoique la cloison soit vraisemblablement dissoute. Son noyau s'est dédoublé. Il y a une seule cellule antipode dont la cloison s'est conservée.

Fig. 9. Sac embryonnaire adulte. Le nucléus propre a disparu. La cellule 2 a poussé vers le dehors un prolongement cæcal qui s'est rempli d'un plasma granuleux et opaque. Les deux vésicules embryonnaires sont parfaitement

développées. Il y a deux vésicules anticlines surperposées, à parois bombées vers le micropyle. Elles renferment un plasma hyalin.

Fig. 10 et 11. — *Nonea flavescens.* — Gross. 150.

Fig. 10. Sac embryonnaire après la fécondation. L'embryon est déjà composé de deux cellules ; à sa droite on aperçoit les restes de la vésicule embryonnaire stérile. Les deux vésicules anticlines remplissent la partie cylindrique chalazienne du sac, elles sont restées superposées comme elles étaient dès l'origine ; l'une d'elles, la cellule 3, renferme un plasma hyalin, l'autre (cellule 4) un plasma granuleux opaque.

Fig. 11. Sac embryonnaire adulte traité par la potasse caustique. Les deux vésicules embryonnaires et la vésicule anticline se sont gonflées au point de remplir presque le sac embryonnaire.

Fig. 12 à 14. — *Eranthis hiemalis.*

Fig. 12. Cellules antipodes très-développées, obliquement accolées l'une à l'autre ; au milieu de leur plasma granuleux on aperçoit plusieurs noyaux libres.

Fig. 13. Contenu dégagé des mêmes vésicules antipodes. Chacune d'elles renfermait quatre noyaux (tétrades). Ces noyaux sont composés de trois parties : une zone claire, une zone mate et un nucléole irrégulier solide et obscur. (Caractères variables, selon la mise au point.)

Fig. 14. Cellule antipode résultant de la fusion de deux cellules. Elle renferme deux gros nucléus.

PLANCHE 14.

Fig. 1 à 10. — *Allium fallax.*

Fig. 1. Jeune nucelle avec la cellule mère primordiale. — Gross. 300.

Fig. 2. Cellule *m* divisée en trois ; la cellule sœur externe, très-petite, est remplie de plasma réfringent. — Gross. 300.

Fig. 3. La cellule 2 forme une saillie conique dans la cellule externe.

Fig. 4. La cellule 1 s'insinue entre les cellules épidermiques du nucelle. On y aperçoit vaguement plusieurs noyaux. Les cellules inférieures n'ont pas pu être dessinées. — Gross. 300.

Fig. 5. La cellule externe est réduite à l'état d'un épaississement apical du sac embryonnaire. Les trois autres cellules sont reconnaissables à leurs volumineux nucléus. — Gross. 300.

Fig. 6. Nucelle un peu plus âgé. La cellule externe contient trois noyaux au milieu d'un plasma très-dense. La cellule 1 a produit les deux noyaux des synergides englobés dans des granules et le gros noyau de la vésicule embryonnaire déjà circonscrit par une ligne déliée. La cellule 2 a produit quatre noyaux : les noyaux *a* et *b* sont dans le même plan horizontal, *c* est un peu plus bas, et *d* beaucoup plus bas. La cellule n'a donné naissance qu'à deux noyaux. — Gross. 300.

Fig. 7. La cellule 1 fait une forte saillie conique un peu échancrée en haut dans la cellule externe. Cette saillie est au moins en partie épaissie, gélifiée et pleine. — Gross. 600.

Fig. 8. Les vésicules embryonnaires sont formées ; à la place du noyau de la

cellule 2, on en trouve quatre. Les noyaux antipodes sont au nombre de deux. — Gross. 300.

Fig. 9. Sac embryonnaire couronné par les cellules qui dérivent de la cellule externe. L'appareil sexuel n'est encore représenté que par trois noyaux empâtés dans un plasma dense. La cellule 2 renferme quatre noyaux, dont deux entourés d'une masse externe propre et deux réunis dans la même masse. On ne voit que trois noyaux antipodes. — Gross. 300.

Fig. 10. Figure destinée à montrer un nouvel état de la cellule externe. Le contenu est incomplétement dessiné.

Fig. 11 à 15. — *Allium odorum* (le micropyle est en bas).

Fig. 11. Sac embryonnaire couronné de trois cellules visibles descendant de la cellule externe. — Gross. 150.

Fig. 12. Objet analogue. On voit au milieu du sac embryonnaire six noyaux englobés dans deux vésicules. — Gross. 150.

Fig. 13. Même objet. — Gross. 150.

Fig. 14. Coupe longitudinale passant par le sommet du nucelle. La vésicule embryonnaire est détachée. Dans l'eau sucrée. — Gross. 600. (Voyez le texte.)

Fig. 15. La même préparation dans l'eau iodée.

Fig. 16 à 17. — *Nothoscordum fragans.* — Gross. 150.

Fig. 16. Partie du sac embryonnaire avec trois antipodes séparées et les bourgeonnements micropylaires décrits par M. Strasburger.

Fig. 17. Vésicule antipode renfermant quatre noyaux.

Fig. 18 à 20. — *Lilium candidum.* — États successifs de la cellule mère primordiale. — Gross. 300.

Pour le développement ultérieur, voyez le texte.

PLANCHE 15.

Fig. 1 à 11. — *Salvia pratensis.* — Gross. 300.

Fig. 1 à 3. États successifs du jeune sac embryonnaire.

Fig. 4. Région supérieure du sac embryonnaire avec deux vésicules (à moins qu'une troisième ne soit cachée derrière celle-ci).

Fig. 5. Région inférieure d'un jeune sac embryonnaire, avec deux cellules anticlines.

Fig. 6. Jeune sac embryonnaire avec trois cellules anticlines.

Fig. 7. Les cellules 3 et 4 se sont remplies de fécule après la fécondation.

Fig. 8. La fécule a de nouveau disparu.

Fig. 9. Cellule anticline singulièrement conformée et remplissant l'isthme qui sépare la partie antérieure et la partie postérieure du sac embryonnaire.

Fig. 10. Partie inférieure du sac embryonnaire limité latéralement par la couche de revêtement et fixé sur le reste du nucelle.

Fig. 11. Sac embryonnaire fécondé. Les cellules 3 et 4 ont produit l'endosperme, qui commence à être traversé par l'embryon.

Fig. 12. Jeune nucelle de *Glechoma hederacea.* — Gross. 600.

Fig. 13 à 25. — *Butomus umbellatus.* — Gross. 300.

Fig. 13 à 25. Etats successifs de l'ovule, du nucelle ou du sac embryonnaire. (Voyez le texte.)

Fig. 24. Partie supérieure du sac embryonnaire.

Fig. 25. Partie inférieure du sac embryonnaire. Deux cellules mères spéciales se sont directement transformées en vésicules anticlines et renferment un gros noyau indivis.

PLANCHE 16.

Fig. 1 à 7. — *Orchis galeata*. — Gross. 600.

Fig. 1. Jeune ovule montrant la cellule *m*.

Fig. 2 et 3. Les deux divisions qui s'opèrent successivement dans cette cellule.

Fig. 4. La cellule 1 s'accroît, apparaît au dehors du nucelle et se loge dans le tégument.

Fig. 5. Les cloisons sont dissoutes ; le plasma de la cellule 2 forme une zone régulière au milieu du sac embryonnaire.

Fig. 5 *bis*. La même préparation traitée par de la potasse étendue.

Fig. 6. La cellule 1 renferme trois noyaux très-apparents et un quatrième difficile à voir. Le noyau de la cellule 2 est devenu le noyau du sac embryonnaire.

Fig. 7. Sac embryonnaire montrant très-nettement quatre noyaux nés dans la cellule 3.

Fig. 8 à 12. — *Hemerocallis fulva*. — Gross. 300.

Fig. 8 et 9. Etats successifs de la cellule mère primordiale.

Fig. 10. Elle est divisée en trois. Les cellules 1 et 3 renferment chacune quatre noyaux, la cellule 2 un seul.

Fig. 11. Quatre cellules antipodes issues des quatre noyaux de la figure précédente.

Fig. 12. Les cloisons sont dissoutes. On voit le noyau de la cellule 2 et celui de la cellule 3. Le contenu de la cellule 1 n'a pu être dessiné.

Fig. 13 à 15. — *Ornithogalum pyramidale*. — Gross. 300.

Fig. 13. Jeune nucelle.

Fig. 14. Exceptionnellement le sac embryonnaire ne paraît être composé que de deux cellules représentées par deux nucléus. Cette figure ressemble beaucoup à celle signalée par M. Strasburger.

Fig. 15. Sac embryonnaire composé de trois cellules. La cellule 1 montre trois noyaux, la cellule 2 un seul, la cellule 3 quatre.

RECHERCHES CHIMIQUES

TENDANT A DÉMONTRER

LA PRODUCTION DE L'ALCOOL DANS LES FEUILLES, LES FLEURS ET LES FRUITS

DE CERTAINES PLANTES

Par M. S. de LUCA
Professeur à l'université de Naples.

I

En 1865, j'ai fait des expériences sur les feuilles des plantes tenues en macération dans de l'eau distillée. J'ai opéré sur les feuilles de 278 plantes, et dans la plupart des cas j'ai constaté que, par l'action du temps et de l'eau, les feuilles des plantes dégagent de l'acide carbonique.

En poursuivant, en 1866, mes premières recherches, j'ai démontré expérimentalement que les feuilles des plantes en présence de l'eau distillée, après un temps plus ou moins long, dégagent de l'acide carbonique et de l'azote, et quelquefois aussi de l'hydrogène en proportion variable. Parmi les gaz dégagés, on n'a pas trouvé d'oxygène, mais l'acide carbonique et l'azote n'ont jamais manqué de se développer, et par conséquent on a toujours constaté leur existence dans le mélange gazeux.

L'appareil dont j'ai fait usage pour produire et pour recueillir les gaz est des plus simples. Il consiste en un récipient de verre de deux à quatre litres de capacité, dans lequel j'ai introduit les feuilles d'un poids déterminé et de l'eau distillée suffisante pour remplir complétement le vase, de manière à n'y pas laisser d'air libre. L'appareil portait un tube recourbé,

communiquant avec des éprouvettes pleines d'eau, où les gaz allaient se réunir.

Dans la première période expérimentale, j'ai constaté une très-petite quantité d'acide carbonique parmi les gaz qui se dégageaient, parce qu'une plus forte proportion du même gaz restait en solution dans l'eau où se trouvaient les feuilles des plantes ; au contraire, l'azote, par sa presque insolubilité dans l'eau, se dégageait relativement en abondance. Lorsque l'eau se trouvait saturée d'acide carbonique, celui-ci se dégageait plus facilement et en totalité, et accompagnait toujours l'azote dans toute la période du dégagement gazeux.

Pour l'analyse quantitative des gaz, on a opéré de la manière suivante. Le mélange gazeux, exactement mesuré, a été traité par la potasse d'abord, pour retenir l'acide carbonique, et ensuite par l'acide pyrogallique, pour absorber l'oxygène dans le cas qu'il s'y trouvait. Au résidu gazeux ainsi obtenu, après l'avoir lavé et desséché, on a ajouté un volume déterminé d'oxygène pur, et sur ce mélange on a fait passer des étincelles électriques. Le nouveau résidu gazeux a été traité par la potasse, puis par l'acide pyrogallique, dans le but d'absorber l'acide carbonique, dans le cas qu'il s'en soit produit, et l'oxygène excédant : après tous ces traitements, le résidu gazeux a été considéré comme de l'azote. Toutes ces opérations de dosage, on les a faites dans le bain à mercure et à la température comprise entre 18 et 20 degrés du thermomètre centigrade.

Les expériences mentionnées ont été commencées avec les feuilles du Myrte commun, le 19 mars 1866, et continuées jusqu'au 21 juillet de la même année ; avec les feuilles d'autres plantes on a exécuté plusieurs autres recherches et expériences, comme on peut l'observer dans le tableau suivant :

NOM DES PLANTES.	POIDS DES FEUILLES.	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	GAZ RECUEILLI.	QUANTITÉ EN CENTIÈMES d'acide carbonique.	d'azote.	d'hydrogène.	OBSERVATIONS.
1. Myrte commun (*Myrtus communis*).	50 gram.	19 mars au 4 avril 1866. . .	c. c. 25,0	21,0	42,7	36,2	1. Pendant le mois d'avril, lorsque la température était basse, le dégagement gazeux s'arrêtait.
		4 au 5 avril.	46,4	44,0	12,0	44,0	
		5 au 6 avril.	48,6	49,5	3,2	47,5	
		6 au 7 avril.	55,0	48,1	3,2	48,7	
		7 au 9 avril.	22,0	45,0	3,4	51,6	
		9 au 11 avril.	13,0	30,7	8,6	60,7	
		11 au 14 avril.. . . .	12,0	60,6	2,4	37,0	
		14 au 19 avril.. . . .	47,0	77,7	2,6	19,7	
		19 au 20 avril.. . . .	50,0	71,3	4,3	24,4	
		20 au 22 avril.. . . .	37,0	59,7	2,9	37,4	
		22 au 23 avril.. . .	25,0	49,5	4,7	45,8	
		23 au 27 avril.. . . .	35,0	56,3	7,3	35,4	
		27 avril au 1er mai. .	25,0	58,4	3,6	38,0	
		1er au 2 mai.	29,9	24,0	11,9	64,1	
		2 au 3 mai.	33,0	59,1	10,4	40,5	
		3 au 8 mai..	33,0	50,8	5,8	43,4	
		8 au 10 mai.	27,0	52,1	4,7	43,2	
		10 au 11 mai.	21,3	36,1	5,0	58,9	
		11 au 15 mai.	25,5	25,0	13,3	61,7	
		15 au 22 mai.	50,0	19,2	7,0	72,8	
		22 au 25 mai.	19,3	36,2	5,5	58,3	
		25 mai au 1er juin.. .	44,0	40,4	9,8	49,8	
		1er au 10 juin	33,0	16,3	11,2	72,5	
		10 au 12 juin.	27,0	19,6	8,8	71,6	
		12 au 14 juin.	55,0	65,4	3,4	31,2	
		14 au 26 juin.	42,0	13,1	8,9	78,0	
		26 juin au 6 juillet. .	24,5	6,1	14,6	79,3	
		6 au 21 juillet. . . .	16,3	31,2	14,4	54,4	
		Gaz total. . .	913,8				
2. Myrte commun.	25 gram.	12 au 15 juin.	30,0	31,0	19,1	49,9	2. Dans cette expérience, le gaz se dégageait lentement et en petite proportion.
		15 juin au 9 juillet. .	21,0	30,0	37,4	32,6	
		Gaz total. . .	51,0				
3. Myrte commun.	50 gram.	15 au 23 avril.	50,0	31,8	69,2	»	3. Dans ces expériences on n'a pas fait de dosage de l'hydrogène, mais on a constaté dans le résidu gazeux la présence d'un gaz combustible.
		23 au 5 mai.	80,6	»	»	»	
		5 au 15 mai.	129,5	»	»	»	
		15 mai au 7 juin. . .	200,0	96,4	3,6	»	
		Gaz total. . .	460,1				
4. *Eugenia australis*.	50 gram.	10 au 15 avril	24,5	13,4	46,6	40,0	4. La solution, après le 7 juin, ne faisait sentir aucune odeur, et par évaporation a fourni de la crème de tartre.
		15 au 16 avril.	23,5	20,5	34,4	45,1	
		16 au 8 mai.	120,5	35,6	24,4	40,0	
		8 au 15 mai.	210,0	58,3	11,7	30,0	
		15 mai au 7 juin. . .	80,5	69,9	3,0	27,1	
		Gaz total. . .	459,0				
5. *Eugenia australis*.	50 gram.	29 mars au 23 avril.	25,0	49,5	4,7	45,8	5. La solution, très-claire et inodore après la macération, a fourni de la crème de tartre par l'évaporation.
		23 avril au 10 mai. .	27,0	52,0	3,6	44,0	
		10 mai au 19 juin. . .	40,0	50,0	3,3	46,7	
		Gaz total. . .	92,0				

NOM DES PLANTES.	POIDS DES FEUILLES	DURÉE DE L'EXPÉRIENCE.	GAZ RECUEILLI.	QUANTITÉ EN CENTIÈMES d'acide carbonique.	d'azote.	d'hydrogène.	OBSERVATIONS.
			c. c.				
6. *Ficus Carica.*	50 gram.	1[er] au 5 mai 1866. .	190,0	27,9	72,1	»	6. Le résidu gazeux n'était pas combustible.
		5 au 16 mai.	200,0	46,5	53,5	»	
		16 au 7 juillet.	90,7	11,1	88,9	»	
		Gaz total. . . .	480,7				
7. *Citrus Aurantium.*	50 gram.	24 au 30 avril.	210,0	9,1	90,9	»	7. Le résidu gazeux de cette expérience n'était pas combustible.
		30 avril au 8 mai. . .	204,5	62,3	37,7	»	
		8 au 15 mai.	180,7	87,9	12,1	»	
		15 au 8 juin.	170,5	90,5	9,5	»	
		Gaz total. . . .	705,7				
8. *Ligustrum japonicum.*	50 gram.	10 au 16 mai.	279,6	39,5	28,9	31,6	8. Le dégagement gazeux était abondant au commencement de l'expérience, puis il y a eu diminution progressive.
		16 au 8 juin	170,0	26,4	14,3	59,3	
		8 au 28 juin	198,0	61,1	8,4	34,5	
		Gaz total. . . .	647,6				
9. *Phœnix dactylifera.*	100 gram.	9 au 15 mai.	180,0	8,0	92,0	»	9. Le résidu gazeux, après le traitement avec la potasse, n'était pas combustible.
		15 au 28 juin	160,5	42,2	57,8	»	
		Gaz total. . . .	340,5				
10. *Platanus orientalis.*	100 gram.	20 au 24 avril	28,0	26,1	50,9	23,0	10. Dégagement gazeux abondant pendant toute la durée de l'expérience.
		24 au 25 avril. . . .	271,0	31,5	35,5	33,0	
		25 au 26 avril	180,2	37,0	28,9	34,1	
		26 au 27 avril	160,8	29,5	33,5	37,0	
		Gaz total. . . .	640,0				
11. *Lactuca sativa.*	100 gram.	20 au 24 avril. . . .	162,5	17,2	82,8	»	11. Le résidu gazeux n'était pas combustible.
		24 au 25 avril. . . .	140,0	21,8	78,2	»	
		25 au 27 avril. . . .	205,0	24,8	75,2	»	
		27 au 30 avril. . . .	250,3	23.0	67,0	»	
		30 au 8 mai.	70,9	26,6	73,4	»	
		8 au 8 juin.	170,0	11,8	88,2	»	
		Gaz total. . .	998,0				
12. *Vitis vinifera.*	100 gram.	1[er] au 5 mai.	130,0	15,0	85,0	»	12. Après le traitement par la potasse, le résidu gazeux n'était pas combustible.
		5 au 16 mai.	158,0	32,0	68,0	»	
		16 mai au 8 juin. . .	29,8	23,0	77,0	»	
		8 au 28 juin.	50,5	8,5	91,5	»	
		Gaz total. . .	368,3				
13. *Ligustrum vulgare.*	100 gram.	20 au 25 avril. . . .	170,0	15,0	85,0	»	13. L'hydrogène a été dosé une seule fois, mais dans les deux autres cas le résidu gazeux était combustible.
		25 au 27 avril. . . .	150,0	30,4	63,6	»	
		27 avril au 2 mai. . .	230,0	44,0	12,7	43,3	
		Gaz total. . .	550,0				
14. *Hedera Helix* (Lierre commun).	100 gram.	1[er] au 7 juin.	188,3	86,9	13,1	»	14. Le résidu gazeux n'était pas combustible.
		7 au 28 juin.	150,0	90,1	9,9	»	
		Gaz total. . . .	338,3				
15. *Æsculus Hippocastanum.*	100 gram.	8 au 12 juillet. . . .	160,0	35,0	65,0	»	15. Le résidu gazeux était combustible après le traitement par la potasse.
		12 au 13 août. . . .	110,0	42,8	57,2	»	
		Gaz total. . . .	270,0				

Une expérience analytique comparative entre les feuilles du Myrte commun et les feuilles de l'*Eugenia* d'Australie, avant et après leur macération dans l'eau distillée, pendant soixante-cinq jours, c'est-à-dire du 13 juin jusqu'au 17 août de l'année 1866, a fourni les résultats suivants :

Feuilles du Myrte commun recueillies le 13 juin 1866.

7gr,136 de ces feuilles desséchées à 120 degrés ont perdu 3gr,912 d'eau, ou 54,8 pour 100.

3gr,223 feuilles desséchées par la calcination ont donné 0gr,209 de cendres, ou 6,4 pour 100.

Le jus obtenu de 25 grammes de feuilles humides, filtré et desséché, a fourni un extrait du poids de 1gr,143, ou 4,6 pour 100.

*Feuilles de l'*Eugenia *d'Australie recueillies le 13 juin 1866.*

6gr,832 de ces feuilles desséchées à 120 degrés ont perdu 3gr,415 d'eau, ou 49,9 pour 100.

3gr,417 feuilles desséchées ont donné 0gr,104 de cendres, ou 3 pour 100.

Le jus obtenu de 25 grammes de feuilles, filtré et desséché, a fourni un extrait du poids de 0gr,775, ou 3,1 pour 100.

Après la macération.

Le liquide aqueux, après la macération de 25 grammes de feuilles de Myrte commun, était coloré, trouble, et avait une odeur fétide insupportable.

Le liquide aqueux, après la macération de 25 grammes de feuilles de Myrte d'Australie, était sans couleur, limpide et sans la moindre odeur.

Conclusions.

1. En général, les feuilles des plantes tenues en macération dans l'eau distillée dégagent des matières gazeuses, ordinairement de l'acide carbonique et de l'azote, et quelquefois de l'hydrogène.

2. Lorsque la température de l'atmosphère est basse, le dégagement gazeux s'arrête, et il recommence à se manifester aussitôt que la chaleur s'élève et se maintient entre 20 et 25 degrés du thermomètre centigrade.

3. Les feuilles avec lesquelles on obtient, après la macération dans l'eau distillée et l'évaporation, des substances cristallisées, sont celles qui de préférence dégagent, outre l'acide carbonique et l'azote, qui ne manquent jamais, aussi de l'hydrogène.

4. Les feuilles du Myrte commun, après la macération dans l'eau, communiquent à ce liquide une odeur infecte ; tandis

que les feuilles du Myrte d'Australie (*Eugenia australis*), après leur macération dans l'eau, laissent le liquide parfaitement incolore et sans odeur. Ce liquide fournit par son évaporation de la crème de tartre.

5. Le dégagement gazeux par la macération des feuilles dans l'eau ne commence pas immédiatement, mais il a besoin d'un, deux, trois et jusqu'à dix jours pour se produire régulièrement.

6. Le dégagement gazeux par les feuilles tenues en macération dans l'eau peut se continuer pendant plusieurs mois ; mais il arrive un temps dans lequel il s'arrête complétement, et certaines feuilles se désagrégent tellement, qu'elles ne conservent que quelques traces de leur forme primitive.

II

Sur la fermentation alcoolique et acétique des fruits, des fleurs et des feuilles de certaines plantes.

Après le travail précédent, j'ai pensé qu'il n'était pas sans intérêt de déterminer les transformations que pouvaient subir non-seulement les feuilles, mais aussi les fleurs et les fruits de quelques plantes, lorsqu'on les renferme dans des tubes de verre résistant, remplis d'acide carbonique ou d'hydrogène, ou même en y faisant le vide.

Ces expériences ont été commencées en 1870 sur les feuilles, les fruits et les fleurs de différentes plantes, mais particulièrement sur les fraises, sur les cerises, sur les nèfles du Japon, etc., etc. Soit dans l'hydrogène, soit dans l'acide carbonique, et mieux encore dans le vide, les feuilles, les fleurs et les fruits, en général, se conservent pendant longtemps avec la forme et la couleur propres ; mais ensuite, peu à peu, ils se décolorent et séparent un liquide dense qui adhère en partie aux parois intérieures des tubes et en partie se sépare et se réunit au fond des mêmes tubes.

Voici les expériences les plus importantes que j'ai exécutées :

1. Trois fruits du Néflier du Japon (*Eriobotrya japonica*),

seulement, ont été introduits, le 2 juin 1870, dans un tube de verre qu'on a rempli d'acide carbonique. Ils se sont parfaitement conservés, sans altération visible et avec leur couleur naturelle et l'apparence de leur propre maturité et fraîcheur. A la fin de 1874, à peine eut-on cassé l'une des deux extrémités du tube, qu'il s'est produit un fort sifflement, à cause de la sortie rapide et forcée du gaz qui s'y trouvait comprimé. Après quelques heures, les trois fruits, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, ont commencé à changer de couleur, en prenant une teinte brune, et en même temps sur leur surface se formaient des gouttelettes nombreuses d'un liquide transparent. Le gaz resté dans le tube était de l'acide carbonique, et les trois fruits pesaient 40 grammes environ.

Le liquide obtenu par la pression des trois fruits montrait une réaction légèrement acide aux papiers réactifs et n'avait pas le goût sucré. Soumis à la distillation en présence de l'eau et les premières portions volatiles condensées sur quelques cristaux de carbonate de soude, on a obtenu un liquide qui, par l'action de la chaleur, produisait des vapeurs inflammables. Par conséquent, la matière sucrée qui existait dans lesdits fruits, quoique hors du contact de l'air, avait subi la fermentation alcoolique, en dégageant une forte proportion d'acide carbonique, capable d'exercer une pression énergique sur les mêmes fruits et empêcher la sortie des liquides intérieurs ou le changement de couleur et de forme des mêmes fruits.

2. D'autres nèfles du Japon, à la date du 2 juin 1870, ont été enfermées dans des tubes remplis d'hydrogène. Ces fruits se sont parfaitement conservés avec leurs apparences extérieures; mais plusieurs de ces tubes se sont spontanément cassés pendant l'été de 1871, et seulement deux ont pu résister à la pression intérieure des gaz. En 1874, ces derniers ont été cassés sous le mercure, et l'on a recueilli le gaz, qui en partie a été absorbé par la potasse, tandis que le résidu gazeux était combustible. Les fruits ont été réduits en pâte dans un mortier avec un peu d'eau; le liquide exprimé et filtré, à peine acide au papier de tournesol, n'avait pas de saveur sucrée,

exhalait une odeur éthérée agréable, et, soumis à la distillation fractionnée, a produit une petite quantité de liquide dont les vapeurs étaient combustibles.

3. Quelques autres nèfles du Japon ont été introduites dans des tubes où l'on a fait le vide et qui ont été ensuite fermés à la lampe. Même dans cette expérience, les fruits se sont parfaitement conservés, et mieux que dans l'acide carbonique et dans l'hydrogène. Du 2 juin 1870 jusqu'à la fin de 1874, aucun tube ne s'est cassé spontanément. Lorsqu'on a ouvert ces tubes sous le mercure, on a recueilli le gaz dégagé dans une éprouvette graduée, où la potasse l'a presque entièrement absorbé ; le résidu non absorbé était de l'azote, environ 2 centimètres cubes, de 115 centimètres cubes de gaz total. On a écrasé les fruits dans un mortier ; ils étaient au nombre de douze et pesaient 94 grammes, montraient une réaction légèrement acide et avaient un goût un peu sucré ; ils fournirent, par un procédé analogue au précédent, quelques traces de vapeurs inflammables. Par conséquent, les nèfles du Japon, dans le vide, ne subissent pas des altérations profondes, et le dédoublement de la matière sucrée ne se fait que fort incomplétement, peut-être à cause du peu de pression exercée sur les fruits par la petite quantité de gaz dégagé.

4. Les feuilles et les fleurs de l'*Eriobotrya* japonais, recueillies pendant le mois de novembre 1870 et renfermées dans des tubes de verre, en présence de l'acide carbonique ou de l'hydrogène, ou même dans le vide, en général, se comportent comme les fruits de la même plante, c'est-à-dire qu'il se dégage de l'acide carbonique et se produit une petite quantité d'alcool ; mais, dans le vide, les feuilles et les fleurs ne subissent aucune altération, à peine dégagent-elles quelques centimètres cubes de gaz insuffisant pour remplir la capacité des tubes où elles se trouvent renfermées.

5. Les feuilles du Myrte commun, introduites dans des tubes de verre en présence de l'acide carbonique, depuis le mois de novembre 1870 jusqu'au mois d'août 1875, étaient

devenues un peu jaunâtres, et dans l'intérieur des tubes s'était condensée de l'humidité sous forme de gouttelettes, tandis que, au fond des mêmes tubes, on voyait séparée une petite quantité de liquide brun et dense.

Par l'ouverture d'un de ces tubes sous le mercure, on a recueilli 127 centimètres cubes de gaz, tandis que le mercure introduit dans le tube n'était que de 68 centimètres cubes. Par conséquent, les feuilles ont dégagé 65 centimètres cubes de gaz. La potasse caustique a absorbé presque complétement ce gaz, sauf un demi-centimètre cube, qui était de l'azote.

6. Les feuilles du même Myrte commun, de novembre 1870 au mois d'avril 1875, dans le vide, ont conservé presque toute leur même couleur. Par l'ouverture du tube sous le mercure, on a recueilli 24 centimètres cubes de gaz, tandis que la capacité du tube était de 71 centimètres cubes. La potasse a absorbé complétement la quantité du gaz dégagé. Il résulte de cette expérience et de la précédente que les feuilles du Myrte commun, dans une atmosphère d'acide carbonique, subissent une espèce de fermentation, par effet de laquelle de l'acide carbonique se dégage avec formation d'une trace d'alcool, tandis que les feuilles du même Myrte commun, dans le vide, dégagent à peine une petite quantité d'acide carbonique, peut-être parce que la fermentation commencée n'a pu se compléter par défaut de pression.

7. L'hydrogène, au contact des feuilles du Myrte commun, agit comme l'acide carbonique, c'est-à-dire que la matière organique des feuilles, pendant le même temps, de novembre 1870 au mois d'avril 1875, et dans les mêmes conditions, produit une espèce de fermentation avec dégagement d'acide carbonique et production d'alcool en très-petite quantité.

8. Deux espèces de fraises (*Fragaria vesca* et *Fragaria chilensis*) ont été expérimentées en les enfermant dans des tubes de verre avec de l'acide carbonique et avec de l'hydrogène. Cependant ces fruits, en conservant imparfaitement leur forme, ont perdu presque entièrement leur couleur et ont

diminué considérablement de volume. De ces fruits s'est séparé un liquide brun et dense, adhérent aux parois internes des tubes; il était en moindre proportion dans les fraises ordinaires conservées avec l'acide carbonique, et en plus forte proportion dans les fraises du Chili, qui étaient déformées et presque écrasées par la forte pression du gaz hydrogène.

Les fraises conservées dans l'acide carbonique, de 1870 jusqu'à 1875, ont dégagé du gaz carbonique complétement absorbable par la potasse; mais la production de l'alcool a été presque nulle, parce qu'on ne l'a pu constater ni par la distillation fractionnée du liquide aqueux, ni par les vapeurs inflammables; seulement on a obtenu une trace d'iodoforme en faisant bouillir le liquide distillé en présence du carbonate de sodium et de l'iode. Le résidu de la distillation du liquide aqueux avait une réaction acide et contenait une forte proportion de glycose, qui a été isolée et caractérisée par tous les procédés connus. Il résulte de ce qui précède que les fraises ordinaires subissent une fermentation fort incomplète et laissent une grande quantité de matière sucrée inaltérée.

9. Les fraises du Chili, au nombre de cinq et du poids de 13 grammes, ont été introduites dans un tube de verre, avec de l'hydrogène, depuis le 31 mai 1870 jusqu'au mois de juillet 1875. Le gaz du tube était en partie absorbé par la potasse; le résidu non absorbé était combustible. Les fraises réduites en pâte dans un mortier de cristal avec de l'eau, le liquide obtenu, filtré et distillé, n'a rien séparé par le carbonate de sodium, n'a pas produit de vapeurs inflammables, et seulement il a donné avec l'iode la matière de l'iodoforme. Le liquide distillé possédait à peine les réactions acides, et le liquide aqueux, résidu de la distillation, a montré, par les traitements déjà indiqués, la présence en forte proportion de la glycose.

10. Un matras à essais, contenant des fruits du Myrte d'Australie et rempli d'acide carbonique le 8 novembre 1870, pesait 68 grammes; tous les fruits étaient bien conservés.

Vers la fin du mois de juillet, on a tenté de l'ouvrir sous

l'eau, en y cassant la pointe fermée; mais une forte détonation se fit entendre à ce moment, et la matière du verre s'est réduite presque en poussière, en lançant les fragments de la cloche où devait se rendre le gaz contre les parois des murs de la pièce et d'une fenêtre, dont les carreaux se sont brisés. Dans l'eau, on a retrouvé en grande partie les fruits en petits fragments, qui, recueillis soigneusement, pesaient 37 grammes. Réduits en pâte dans un mortier, avec de l'eau, et le liquide filtré et distillé, on a obtenu, condensée, une petite quantité de matière volatile, qui répandait une odeur éthérée agréable et qui brûlait facilement au contact d'une allumette enflammée. Le liquide, résidu de la distillation, était acide, mais il ne contenait que quelques traces, peu sensibles aux réactifs, de glycose.

11. A un autre matras à essais, contenant des fruits de Myrte d'Australie, on a fait le vide et on l'a fermé à la lampe le 2 décembre 1870. Il pesait 104 grammes. Ce matras a été ouvert sous l'eau et sous une cloche graduée, en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter les inconvénients de l'expérience précédente. On a obtenu 140 centimètres cubes de gaz, dont 120 centimètres cubes d'acide carbonique et 20 centimètres cubes d'azote. La capacité du matras n'était que de 101 centimètres cubes. Les fruits, au nombre de cinquante et un et du poids de 56 grammes, ont été réduits en pâte dans un mortier, avec l'eau qui avait pénétré dans le matras après la sortie du gaz. Le liquide obtenu, après filtration, a été soumis à la distillation fractionnée ; on a condensé ainsi un liquide odorant, facilement inflammable.

Le résidu liquide de la distillation s'est partagé en deux portions. Dans l'une, on a constaté la présence abondante de la glycose. L'autre, après l'avoir mélangée avec son volume d'alcool, a été abandonnée au repos pendant vingt-quatre heures; après ce temps, on a trouvé au fond du récipient des cristaux solubles dans l'eau plus à chaud qu'à froid, à laquelle solution ils communiquent une réaction légèrement acide. Ces cris-

taux, chauffés sur une lame de platine, se carbonisent et répandent une odeur semblable à celle du pain brûlé; le résidu noir obtenu ainsi, et traité par l'eau distillée, produit un liquide à réaction alcaline, qui fait effervescence par les acides. La solution aqueuse des cristaux mentionnés se trouble par l'eau de chaux. A ces caractères on reconnaît que lesdits cristaux constituent de la crème de tartre.

Il est à remarquer que les fruits du Myrte dont il est question dans cette expérience ont parfaitement conservé leur couleur et leur dimension. En les sortant du récipient, ils répandaient une légère odeur alcoolique.

12. Le 2 décembre 1870, on a introduit les fruits du Myrte d'Australie dans un matras à essais; les fruits pesaient 54 grammes. On a fait le vide dans le matras et on l'a fermé à la lampe. Au mois de juin 1875, on a observé que les fruits n'étaient pas bien conservés; mais en même temps on a découvert que la pointe du matras était incomplétement fermée. En ouvrant le matras sous l'eau, le gaz en est sorti sans aucune pression; il était formé d'acide carbonique et d'azote.

Le liquide obtenu des fruits était acide, et il a fourni par distillation une matière un peu acide dont les vapeurs étaient inflammables. L'acidité était due à l'acide acétique. Le résidu liquide de la distillation a fourni de la crème de tartre et un peu de glycose.

13. Un autre récipient, contenant des fruits de Myrte d'Australie, préparé le 2 décembre 1870, a été fermé à la lampe, après l'avoir vidé d'air. A la fin de 1875, on a trouvé le récipient ouvert et les fruits profondément altérés, d'où s'est séparé un liquide brun et visqueux répandant une odeur ammoniacale. Le liquide obtenu de ces fruits, filtré, avait une réaction alcaline; par la distillation fractionnée, on obtenait de l'ammoniaque sans trace d'alcool. Une portion du liquide, distillée en présence de l'acide sulfurique, n'a pas dégagé de vapeurs d'acide acétique. Le liquide, après en avoir séparé les parties volatiles, n'a pas déposé de la crème de

tartre par le traitement déjà indiqué. Il contient du tartrate neutre de potasse et du tartrate d'ammoniaque.

14. Un autre récipient, préparé le 2 décembre 1870 avec des fruits de Myrte d'Australie, a été fermé à la lampe, après y avoir fait le vide. On l'a trouvé ouvert dans le mois de septembre 1875; les fruits étaient dénaturés, et il s'en était séparé un liquide brun répandant une odeur ammoniacale. Dans ce liquide on a démontré toutes les substances dont on a fait mention dans l'expérience précédente.

15. Les fleurs et les feuilles du Myrte d'Australie, recueillies pendant les mois de septembre et octobre de l'année 1870, et renfermées dans des tubes de verre, soit dans une atmosphère d'acide carbonique, soit dans le vide, se sont parfaitement conservées sans altération jusqu'à la fin de l'année 1873. Depuis cette époque, les fleurs et les feuilles tenues dans l'acide carbonique ont commencé à se décolorer et à se comprimer, avec séparation d'un liquide jaune verdâtre dans les tubes contenant les feuilles, et d'un liquide clair et presque décoloré dans les tubes où se trouvaient les fleurs.

On a ouvert sous le mercure les tubes contenant les feuilles, et l'on a constaté que le gaz sortait avec une forte pression; il était constitué en grande partie de gaz acide carbonique, d'hydrogène et d'une trace d'azote. Le gaz fourni par les fleurs était formé presque entièrement d'acide carbonique, avec traces d'azote.

16. Pour mieux constater le gaz hydrogène qui se dégage des feuilles du Myrte d'Australie, j'ai fait l'expérience suivante :

Dans un flacon à étroite ouverture, plein d'acide carbonique, j'ai introduit 500 grammes de feuilles vertes de Myrte d'Australie. A l'ouverture du flacon, j'ai adapté, au moyen d'un bouchon, un tube à dégagement, pour recueillir les gaz sous l'eau et dans des récipients gradués. Cet appareil a fonctionné pendant quatre mois environ, c'est-à-dire du 20 mars 1873 jusqu'au 15 août de la même année. Sans tenir compte de l'acide carbonique dissous dans l'eau, le volume total des gaz recueillis pendant cette période de temps a été de

614 centimètres cubes, dont 461 centimètres cubes d'acide carbonique, 98 centimètres cubes d'hydrogène et 55 centimètres cubes d'azote. Cette expérience prouve que les feuilles du Myrte d'Australie tenues, non pas dans l'eau pour produire une macération, mais tout simplement humides et hors du contact direct de l'atmosphère, subissent une espèce de fermentation pendant laquelle se dégagent de l'acide carbonique, de l'hydrogène et de l'azote, précisément comme il arrive lorsque les feuilles du Myrte d'Australie ont macéré dans l'eau.

17. Les cerises tenues dans une atmosphère d'acide carbonique dans des tubes fermés aux deux bouts ont présenté les phénomènes semblables à ceux observés déjà dans les fraises, c'est-à-dire dégagement d'acide carbonique et formation d'alcool ; mais la forme des cerises s'est maintenue avec sa surface lisse et brillante, seulement elles avaient perdu leur couleur naturelle et avaient pris presque la couleur blanche de la cire.

Un tube avec huit cerises, en une atmosphère d'acide carbonique et dans un tube fermé à la lampe le 30 mai 1870, a été ouvert sous l'eau le 20 juin 1875. Les cerises pesaient 36 grammes. On a obtenu 160 centimètres cubes de gaz, presque tout absorbable par la potasse. Le jus obtenu de ces cerises traitées par l'eau a fourni des vapeurs inflammables, dues à la présence de l'alcool. Le liquide distillé contient de l'acide acétique; le liquide résidu de la distillation contient de la glycose.

18. Les Pommes de terre introduites dans un flacon à large ouverture rempli d'acide carbonique, et communiquant par un tube abducteur avec des éprouvettes graduées et pleines d'eau, dégagent de l'acide carbonique et un peu d'azote après un certain temps, et l'on trouve dans la pulpe, par un traitement approprié, de l'alcool et de la glycose.

19. Les feuilles du Platane (*Platanus orientalis*), dans les mêmes conditions des expériences sur les Pommes de terre, dégagent aussi de l'acide carbonique et de l'azote et même une certaine proportion d'hydrogène. Ces feuilles, après le traitement indiqué, ont donné une trace d'alcool.

20. Les feuilles du *Ligustrum japonicum*, par un traitement analogue au précédent, dégagent du gaz carbonique en abondance, peu d'azote et une petite quantité d'hydrogène. Les mêmes feuilles, après ce traitement, qu'on peut continuer plusieurs mois, se ramollissent et séparent un liquide jaune verdâtre, duquel on peut obtenir une trace d'alcool.

Dans tous ces phénomènes de fermentation alcoolique et acétique, on trouve rarement, soit dans les fruits, soit dans les fleurs et les feuilles, les ferments correspondants. La glycose qui y est contenue se dédouble en tout ou en partie, avec production d'alcool, gaz carbonique et acide acétique ; mais un tel dédoublement a lieu sans la présence d'aucun ferment.

21. Les feuilles de l'Olivier, tenues en macération dans l'eau, avant ou pendant la floraison, subissent une espèce de fermentation, par effet de laquelle se dégagent en abondance du gaz carbonique, de l'azote et de l'hydrogène.

Les mêmes feuilles d'Olivier humides et vertes, recueillies avant ou pendant la floraison, tenues dans une atmosphère de gaz carbonique, dégagent, même dans ces conditions, du gaz carbonique, de l'azote et de l'hydrogène.

Les fleurs de l'Olivier se comportent exactement comme les feuilles, et, dans les mêmes conditions, dégagent les mêmes gaz, acide carbonique, azote et hydrogène. Les fleurs de l'Olivier, comme je l'ai démontré par mes précédentes recherches, contiennent une forte proportion de mannite.

Les fruits de l'Olivier, lorsqu'ils sont verts ou imparfaitement mûrs, contiennent de la mannite, et c'est la raison pour laquelle ils subissent une espèce de fermentation lorsqu'on les fait macérer dans l'eau ou qu'on les place dans une atmosphère d'acide carbonique, et, par conséquent, dégagent du gaz carbonique, de l'azote et de l'hydrogène. Les fruits parfaitement mûrs de l'Olivier ne contiennent plus de mannite, et par conséquent, dans les mêmes conditions, ils dégagent seulement du gaz carbonique et de l'azote.

22. Avec les fruits, les fleurs et les feuilles des plantes déjà mentionnées, on a exécuté des expériences analogues à celles précédemment décrites, mais avec cette différence que, au

lieu d'opérer dans des atmosphères de gaz carbonique, d'azote ou d'hydrogène, ou même dans le vide, on a fait les expériences dans des atmosphères limitées d'air. Les résultats finaux ont été identiques à ceux obtenus des expériences décrites dans ce mémoire, c'est-à-dire le dégagement de l'acide carbonique, de l'azote et quelquefois de l'hydrogène, outre la formation de l'alcool et de l'acide acétique ; mais il faut dire que l'oxygène du volume d'air employé au commencement des expériences a été complétement absorbé par les matières organiques mises en présence, et que dans les gaz dégagés on n'a jamais constaté, ainsi que M. Cahours l'a reconnu depuis longtemps (1), la présence de la plus petite trace d'oxygène libre.

En résumé, de tout ce qui précède, je me crois autorisé à formuler les conclusions suivantes :

1° Les fruits en vases clos se conservent plus ou moins longtemps, soit dans l'acide carbonique ou l'hydrogène, soit dans le vide ou dans une atmosphère limitée d'air.

2° Les fruits, dans de telles conditions, subissent une fermentation lente, avec dégagement de gaz carbonique, d'azote et, dans quelques cas, d'hydrogène, et avec formation d'alcool et d'acide acétique, sans l'intervention d'aucun ferment. En vases clos, ces phénomènes se réalisent incomplétement, à cause de la forte pression produite par les gaz développés et condensés sous un petit volume.

3° Lorsqu'on opère dans une atmosphère limitée d'air et dans des vases fermés, les phénomènes finaux sont identiques aux précédents ; mais l'oxygène de l'air reste absorbé par la matière organique des fruits.

4° Les feuilles et les fleurs se comportent comme les fruits en présence d'une atmosphère limitée de gaz carbonique, d'hydrogène ou d'air, ou encore dans le vide et dans des vases parfaitement clos. Les gaz qui se développent exercent une forte pression sur les matières en expérimentation, dans lesquelles on constate la décomposition incomplète des matières sucrées

(1) Cahours, *Recherches sur la respiration des fruits* (*Comptes rendus*, 1864, vol. LVIII, p. 495).

et amylacées, avec formation d'alcool et d'acide acétique, sans qu'on y trouve facilement aucun ferment.

5° En faisant les mêmes expériences avec des fruits, des fleurs et des feuilles, sous la pression ordinaire, mais toujours dans une atmosphère limitée de gaz carbonique, d'hydrogène ou d'air, les résultats sont parfaitement identiques aux précédents ; mais, dans ces conditions, le dédoublement des matières sucrées et amylacées se complète tellement, que le développement du gaz cessant, on ne retrouve plus, dans les matières expérimentées ni sucre, ni amidon ; à leur place, on y constate de l'alcool et de l'acide acétique en abondance.

6° Les fruits, les fleurs et les feuilles que l'on place, sous la pression ordinaire, dans une atmosphère limitée d'air, de gaz carbonique ou d'hydrogène, ne s'y conservent pas longtemps avec leurs propriétés primitives, mais se détériorent, et les fruits particulièrement se réduisent en une masse de consistance gélatineuse et brune. Il est évident que, dans des vases fermés et sous une forte pression, le dédoublement du sucre, en général, s'arrête, et les fruits, les fleurs et les feuilles peuvent incomplétement se conserver, pendant un certain temps, avec leur forme et avec leurs caractères extérieurs, quoique la saveur et l'odeur se trouvent changées par les transformations des matières organiques qui y sont contenues.

7° Quand les feuilles, les fleurs et les fruits de quelques plantes dégagent de l'hydrogène pendant leur période de fermentation, et dans les conditions précédemment indiquées, ce gaz provient sans doute du dédoublement de la mannite, qui est un sucre avec excès d'hydrogène. En effet, les fruits, les fleurs et les feuilles qui contiennent de la mannite dégagent pendant leur fermentation, outre le gaz carbonique et l'azote, du gaz hydrogène.

8° Lorsque les récipients résistent à de fortes pressions et que la matière à expérimenter y est introduite en petite proportion, le sucre se dédouble presque complétement.

RECHERCHES

SUR

LA COMPOSITION CHIMIQUE ET LES FONCTIONS DES FEUILLES

Par M. B. CORENWINDER.

Depuis plusieurs années, j'ai observé, dans le cours de mes nombreuses recherches sur la physiologie végétale, un fait important qui a fixé longtemps mon attention et dont l'étude m'a permis, je pense, de déterminer le véritable rôle que jouent dans la nature les feuilles des végétaux.

Ce fait est relatif à la fonction des bourgeons, des jeunes pousses et des feuilles naissantes.

Dès 1858, j'avais annoncé que ce n'est pas seulement pendant la nuit que les feuilles des plantes expirent de l'acide carbonique, mais que généralement, dans leur première jeunesse, elles jouissent plus ou moins de cette propriété, même *lorsqu'elles sont exposées à la lumière solaire*.

Plus tard, je me suis livré particulièrement à des recherches sur ce sujet, et je les ai continuées pendant le cours de plusieurs printemps. J'ai opéré sur un grand nombre de bourgeons, de jeunes feuilles non encore ouvertes ou récemment étalées, et j'ai toujours observé que ce phénomène est constant, mais qu'il varie en intensité avec la constitution morphologique des feuilles.

Comme cette exhalation se produit en général à la suite d'une inspiration d'oxygène, on a donc la certitude que, dans leur premier âge, les feuilles des plantes mettent en évidence

la propriété dont elles jouissent de respirer de la même manière que les animaux.

Le temps pendant lequel cette fonction est apparente durant le jour, chez les feuilles naissantes, dépend de leur nature et de la constitution intime de leurs cellules. Chez les unes, elle se manifeste pendant assez longtemps ; chez d'autres, elle cesse d'être sensible très-rapidement.

Si l'on fait les mêmes observations sur des plantes plus avancées en âge, on constate qu'elles n'exhalent plus d'acide carbonique lorsqu'elles sont exposées à une lumière suffisante. Désormais, pour que le phénomène respiratoire devienne apparent, il faut mettre les plantes dans l'obscurité, ou au moins, ainsi que je l'ai démontré autrefois, affaiblir et modifier les conditions de rayonnement de la lumière.

I

Il y a donc une cause qui fait prédominer chez les végétaux naissants l'acte essentiel de la respiration proprement dite. Cette cause, quelle est-elle? Pour la découvrir, j'ai eu recours à l'analyse chimique et à l'observation microscopique. On verra que ces procédés m'ont donné des résultats importants.

On sait aussi depuis longtemps que les bourgeons, les jeunes pousses, les feuilles naissantes, renferment des substances azotées et des phosphates en proportion plus élevée qu'à aucune époque postérieure de leur végétation. J'ai prouvé en outre que lorsque le terme de leur accroissement est atteint, les tiges et les feuilles des plantes annuelles ont subi une perte à peu près complète de leurs éléments azotés et de leurs phosphates. Ces derniers se sont condensés sous une forme nouvelle, autour de l'embryon, dans les organes reproducteurs.

Ces faits m'ont suggéré l'idée, il y a peu d'années, de suivre par l'analyse chimique la décroissance de la matière azotée et des phosphates dans les feuilles, depuis le moment où elles sortent du bourgeon jusqu'à l'époque de leur maturité. Ces recherches ont été effectuées sur deux arbres — un Lilas et un Érable — qui végétaient convenablement dans mon jardin.

Je vais reproduire ces analyses, qui méritent, je crois, de fixer l'attention des savants, car elles ont permis de trouver la raison de phénomènes physiologiques jusqu'alors assez obscurs.

FEUILLES DU LILAS COMMUN

Desséchées à 100°.

DATES 1873	RENSEIGNEMENTS ET OBSERVATIONS.	MATIÈRES azotées.	MATIÈRES carbonées	CENDRES.
15 avril.....	Feuilles petites, (séparé les écailles)	27.87	67.71	4.42
18 —	Feuilles plus grandes, boutons de fleurs apparents	23.36	71.45	5.19
21 —	Feuilles plus grandes, boutons de fleurs formés	18.00	77.04	4.96
12 mai......	Feuilles normales, fleurs ouvertes...	17.86	77.68	4.46
6 juin	— fleurs fanées.....	14.75	78.35	6 90
1er juillet....	—	12.62	79.04	8 34
2 août	—	10.81	80.79	8.40
2 septembre	—	10.31	81.17	8.52
1er octobre ..	Feuilles encore vertes.............	11.19	80.61	8.20
31 — ..	Feuilles flétries..................	8.87	83.13	8.00

FEUILLES DU LILAS COMMUN

Acide phosphorique.

Dates.	Dans 100 parties de feuilles sèches.	Dans 100 parties de cendres.
15 avril......................	1,400	31,67
6 juin......................	0,770	11,16
1er octobre.................	0,460	5,61
31 octobre.................	0,256	3,20

FEUILLES D'ÉRABLE

Desséchées à 100°.

DATES	RENSEIGNEMENTS ET OBSERVATIONS.	MATIÈRES azotées.	MATIÈRES carbonées.	CENDRES.
1er mai......	Feuilles petites, (séparé les écailles).	40.94	53.06	6.00
7 —	— étalées............	38.56	54.54	6.90
20 —	Feuilles plus grandes.............	26.25	65.86	7.89
13 juin	— normales.................	22.87	67.73	9.40
12 juillet....	— —	20.19	68.17	11.64
4 août.	— —	19.59	68.13	12.28
3 septembre	— —	20 62	65.88	13.50
3 octobre ..	— jaunissantes..............	20.00	65.25	14.75
14 — ..	— tombées de l'arbre.........	14.80	69.00	16.20

FEUILLES D'ÉRABLE

Acide phosphorique.

Dates.	Dans 100 parties de feuilles sèches.	Dans 100 parties de cendres.
1er mai.....................	2,797	49,62
13 juin.......................	0,957	10,18
3 octobre	0,119	0,73

Les conséquences qu'on peut tirer de ces analyses sont très-importantes. On voit que les substances azotées, abondantes dans les feuilles naissantes, diminuent en quantité à mesure que celles-ci se développent. Il en est de même de l'acide phosphorique. Au contraire, les matières carbonées augmentent en sens inverse.

Or, en examinant les fonctions physiologiques de ces feuilles pendant les diverses périodes de leur développement, j'ai constaté que l'effet de la respiration, c'est-à-dire le dégagement d'acide carbonique, est très-prononcé, pendant le jour, au

moment de l'éclosion du bourgeon, mais qu'il s'affaiblit rapidement à partir de cette époque. Généralement cet effet n'est plus apparent à la lumière, quand les feuilles ont acquis leur développement ordinaire et leur couleur verte (1).

Il faut conclure de ces faits qu'il y a dans les feuilles une concordance entre le phénomène de la respiration et la prédominance des substances azotées. Celles-ci sont, selon toute apparence, la cause occasionnelle de ce phénomène.

II

Aujourd'hui je me propose de compléter mon premier travail en signalant des analyses que j'ai faites et dont les résultats confirment ceux que j'ai acquis antérieurement.

Chez les arbres à feuilles persistantes, les feuilles, en se développant, se comportent nécessairement de la même manière que celles des arbres à feuilles caduques. Si l'on examine au printemps les jeunes feuilles du *Lauro-cerasus*, par exemple, on constate qu'elles exhalent pendant le jour de l'acide carbonique. Les feuilles des années précédentes n'ont plus cette propriété. Chez les feuilles nouvelles, l'effet de la respiration est d'abord fort sensible, même lorsqu'elles sont exposées à une vive lumière; cet effet diminue en intensité à mesure que ces organes se développent, et il cesse de se manifester lorsque ceux-ci ont atteint leur grandeur normale et qu'ils ont pris une teinte verte prononcée.

Ces faits m'ont engagé, cette année, à faire les analyses des feuilles du *Lauro-cerasus*. J'ai voulu comparer celles qui commencent à croître à celles formées l'année précédente. Il ne me paraissait pas douteux que les premières ne dussent être plus riches en substances azotées que les dernières. On va voir que mes prévisions se sont réalisées.

Ces feuilles ont été détachées du même arbre le 12 mai 1877.

(1) Voy. mon mémoire intitulé : *Études sur les feuilles des arbres*. Lille, 1874.

En voici la composition :

Feuilles du Lauro-cerasus (*nouvelles*).

Eau		76,715
Substances azotées		7,650
Matières carbonées		14,434
Acide phosphorique	0,392	
Chaux	0,201	1,201
Potasse, chlore, silice, etc	0,608	
		100,000

Feuilles du Lauro-cerasus (*année précédente*).

Eau		51,115
Substances azotées		5,256
Matières carbonées		39,933
Acide phosphorique	0,170	
Chaux	1,857	3,696
Potasse, chlore, silice, etc	1,669	
		100,000

La quantité d'eau contenue dans les feuilles étant différente, il convient de ramener ces organes à l'état sec, pour mieux comparer les éléments qu'ils renferment. Faisant ces calculs, on a :

	Feuilles récentes.	Feuilles anciennes.
Substances azotées	32,467	10,752 (1)
Matières carbonées	61,988	81,688
Matières minérales	5,545	7,560
	100,000	100,000

COMPOSITION DES MATIÈRES MINÉRALES.

(En centièmes du poids des feuilles séchées à 100 degrés.)

	Feuilles nouvelles.	Feuilles anciennes.
Acide phosphorique	1,682	0,349
Chaux	0,863	3,798
Potasse, chlore, silice	3,000	3,413
	5,545	7,560

(1) D'autres analyses m'ont donné des résultats analogues. Ainsi, dans les feuilles de Lierre, j'ai trouvé, après les avoir séchées à 100 degrés :

	Feuilles nouvelles.	Feuilles anciennes.
Substances azotées	27,469	13,987

(En centièmes du poids des cendres.)

	Feuilles nouvelles.	Feuilles anciennes.
Acide phosphorique	32,657	4,614
Chaux.....................	16,757	50,264
Potasse, chlore, silice, etc....	50,586	45,122
	100,000	100,000

Ces analyses nous conduisent aux mêmes conclusi ons que celles que nous avons tirées des précédentes. Elles prouvent que :

Chez les arbres à feuilles persistantes, les substances azotées sont plus abondantes dans les feuilles qui sont en voie d'accroissement que dans celles de l'année précédente. Dans ces dernières, au contraire, il y a plus de matières carbonées.

Or nous avons vu précédemment que les jeunes feuilles du *Lauro-cerasus* exhalent de l'acide carbonique pendant le jour, tandis que les anciennes n'ont plus cette propriété, au moins d'une manière apparente. On est donc autorisé à admettre encore que ce sont les *organismes azotés* qui, surabondants dans les premières, mettent en évidence la capacité de respirer qui leur est dévolue, ainsi qu'à tous les êtres animés.

En comparant ces chiffres à ceux indiqués précédemment pour les feuilles de Lilas, on remarque que les feuilles nouvelles du *Lauro-cerasus* cueillies le 12 mai, alors qu'elles avaient déjà acquis un certain développement, sont plus riches en azote que celles du Lilas au moment de leur épanouissement. On constate aussi que les feuilles de *Lauro-cerasus* de seconde année ont à peu près la composition qu'acquièrent celles du Lilas dans le courant du mois d'août.

En ce qui concerne les matières minérales, mes analyses démontrent que l'acide phosphorique est beaucoup plus abondant dans les feuilles nouvelles que dans les anciennes. J'ai eu souvent l'occasion de constater que le phosphore prédomine dans les jeunes feuilles dont les utricules sont riches en matière azotée. Dans les vieilles feuilles, au contraire, le phosphore est en faible quantité, mais, par contre, la chaux s'y accumule dans une proportion considérable. Ces faits ont un caractère général dans la vie des plantes.

III

L'examen morphologique des feuilles du *Lauro-cerasus* justifie bien les phénomènes physiologiques que je viens de mettre en lumière. Si l'on observe au microscope une lame mince d'une jeune feuille de cet arbre, on aperçoit distinctement que ses cellules sont gonflées de protoplasma et qu'elles contiennent relativement peu de chlorophylle.

Or le protoplasma est la matière azotée et phosphorée qui emplit les jeunes cellules et qui en constitue la partie essentiellement active et vivante.

Les cellules qui contiennent du protoplasma sont seules en état de croître, de produire des combinaisons chimiques et de former de nouvelles cellules. Ainsi que tous les êtres animés, elles ne peuvent vivre sans respirer, c'est-à-dire *sans absorber de l'oxygène et exhaler de l'acide carbonique*. On conçoit dès lors pourquoi cet acte se manifeste avec plus d'énergie dans la première période de la vie végétale.

Plus tard, le protoplasma diminue graduellement dans les cellules : aussi, lorsqu'on examine, à l'aide du microscope, avec un grossissement convenable, une lame mince d'une feuille *ancienne* de *Lauro-cerasus*, on constate que les membranes cellulaires, fort épaissies, renferment en abondance des granules de chlorophylle et nécessairement moins de protoplasma. On s'explique dès lors pourquoi, à cette époque, l'acte respiratoire n'est plus apparent ; non-seulement il a diminué avec la matière vivante qui le produit, mais il est dissimulé encore par la fonction inverse de la chlorophylle, qui retient et décompose l'acide carbonique engendré par cet acte ; il faut désormais, pour faire réapparaître l'acide carbonique, neutraliser la cause qui favorise la fonction essentielle de la chlorophylle, c'est-à-dire la lumière.

L'aspect extérieur des feuilles justifie, du reste, leur constitution intime. Jeunes, elles ont une couleur vert pâle, parce qu'elles renferment peu de chlorophylle et beaucoup de substance blanche, aqueuse, translucide, riche en azote et en

phosphore, c'est-à-dire beaucoup de protoplasma. A mesure qu'elles vieillissent, elles deviennent d'un vert plus foncé, parce qu'elles perdent du protoplasma, et surtout parce que les grains de chlorophylle s'organisent en abondance dans les cellules.

Les enveloppes des cellules acquièrent alors plus de rigidité. On voit distinctement, au microscope, qu'elles sont beaucoup plus épaisses que celles des cellules protoplasmiques.

L'analyse chimique justifie encore cette particularité. Elle démontre que les vieilles cellules sont formées d'un réseau épais de cellulose qui s'incruste de matières minérales. Celles-ci sont, pour ainsi dire, le ciment qui consolide l'édifice, qui lui procure la force de résister aux agents extérieurs. La silice et la chaux sont les principales matières incrustantes des vieilles cellules. On a vu précédemment dans quelle proportion la chaux augmente dans les feuilles anciennes ; l'ensemble de mes études sur ce sujet me fait admettre que cette base n'a pas de rôle plus important dans la végétation.

IV

De ce que les jeunes feuilles exhalent pendant le jour de l'acide carbonique, il ne faut pas conclure qu'elles n'ont pas encore la propriété d'expirer de l'oxygène pendant leur exposition à la lumière. Aussitôt que la matière verte est organisée, elle exerce sa fonction spéciale ; on peut le prouver par l'expérience suivante.

On met dans une cloche de verre remplie d'eau chargée d'acide carbonique, quelques rameaux portant des feuilles récemment épanouies, et l'on expose l'appareil au soleil. En peu de temps on s'aperçoit que ces feuilles se couvrent d'une infinité de petites bulles, surtout sur leur face inférieure. Peu à peu ces bulles se détachent, se réunissent à la partie supérieure de la cloche ; et si l'on fait l'analyse du fluide élastique ainsi recueilli, on reconnaît que c'est de l'oxygène.

La quantité d'oxygène que l'on obtient ainsi varie selon la

constitution des cellules des feuilles et la proportion de chlorophylle qu'elles contiennent.

Au contraire, que l'on place de jeunes organes semblables dans une cloche contenant de l'air atmosphérique, et qu'on les expose au soleil, on constate, ainsi que je l'ai démontré plusieurs fois, qu'ils absorbent de l'oxygène et qu'ils exhalent de l'acide carbonique. Comme, d'après l'expérience précédente, leur chlorophylle agit déjà dans un sens inverse, on a donc la preuve directe que, dans leur premier âge, les feuilles sont le siége de deux fonctions (respiration et assimilation) qui s'exercent simultanément pendant le jour. Si dans cette première période la plante répand sans interruption de l'acide carbonique, c'est parce que, en ce moment, l'acte respiratoire prédomine chez elle : *la chlorophylle n'a pas encore la capacité de retenir et de décomposer tout l'acide carbonique produit par cet acte, elle n'est pas encore assez abondante* (1).

A mesure que les feuilles grandissent, cette capacité augmente, on voit diminuer l'acide carbonique; et bientôt la plante adulte, exposée à une lumière suffisante, retient non-seulement tout le gaz acide émanant de la respiration, mais elle en puise encore en abondance dans l'air atmosphérique.

On a prétendu qu'à toutes les époques de sa vie la plante répand *en dehors d'elle-même* du gaz acide carbonique, même lorsqu'elle est exposée à la lumière directe du soleil.

On a cherché à expliquer ce fait de différentes manières; j'ai pensé qu'il fallait avant tout vérifier s'il est exact.

(1) Dans un précédent mémoire je disais :

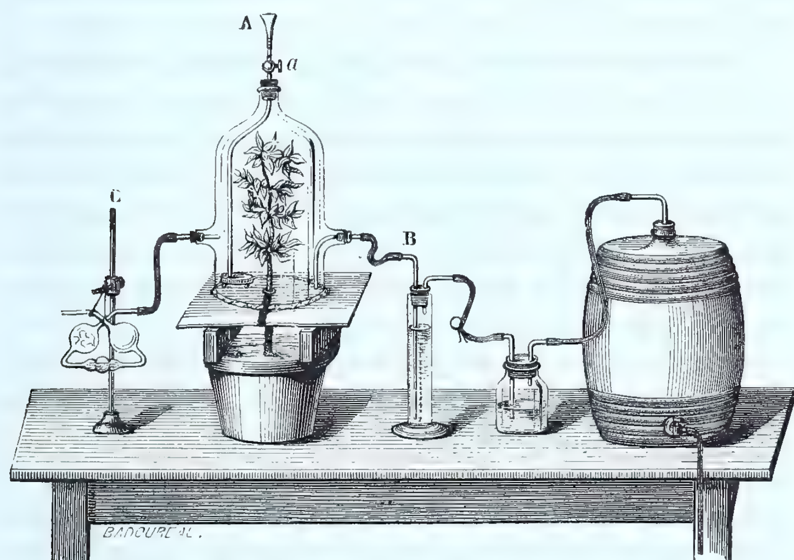
« La limite où les plantes cessent de répandre ostensiblement de l'acide carbonique pendant le jour est variable selon les espèces. J'en ai trouvé qui manifestent cette propriété pendant un certain temps; d'autres la perdent rapidement. On peut classer dans la première catégorie une plante vivace, commune dans nos jardins au printemps : le *Diclytra spectabilis*, et dans la seconde les jeunes feuilles de Betterave.

» La raison de cette particularité est bien simple : les jeunes feuilles de Betterave sont, même en naissant, d'un vert foncé qui atteste qu'elles sont riches en chlorophylle; au contraire, celles du *Diclytra* renferment à la même époque moins de chlorophylle, et nécessairement plus de protoplasma. »

Dans ce but, j'ai disposé un appareil dont on comprendra le mécanisme en examinant la figure ci-dessous.

Quelques mots d'explication, cependant, sont nécessaires pour l'intelligence du sujet.

Ayant isolé dans une cloche de verre une branche feuillue et verte sur laquelle je veux expérimenter, je fais couler l'aspirateur, afin d'enlever tout l'acide carbonique qui pourrait



se trouver dans l'air confiné sous cette cloche. Les boules de Liebig renferment une dissolution de potasse caustique qui retient l'acide carbonique de l'air aspiré.

Cette précaution prise et l'appareil étant exposé au soleil, on verse de l'eau de baryte sur un petit filtre placé dans l'entonnoir fixé au-dessus de la cloche A. Cette eau se répand dans la soucoupe mise à l'intérieur de la cloche, et quand il y en a une quantité suffisante, on ferme le robinet *a*.

J'ai fait en premier lieu une expérience de ce genre, au mois d'août, avec une branche de *Lauro-cerasus* qui à cette époque n'avait que des feuilles adultes. En prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter les causes d'erreur, en

atténuant surtout l'éclat des rayons solaires qui auraient pu brûler les feuilles, j'ai constaté que, pendant toute la journée, l'eau de baryte est restée parfaitement limpide, c'est-à-dire que ces feuilles n'ont pas répandu dans leur atmosphère confinée une quantité sensible d'acide carbonique.

Des expériences semblables, effectuées avec d'autres plantes, notamment avec une belle Fritillaire (*Fritillaria imperialis*) qui n'avait pas produit de fleurs, m'ont donné des résultats identiques.

Il résulte de ces observations que les feuilles qui ont atteint l'âge adulte n'exhalent plus d'acide carbonique lorsqu'elles sont exposées aux rayons solaires, ou au moins à une lumière suffisante qui les environne de toutes parts. Toutefois il ne faudrait pas conclure qu'elles ont perdu alors la faculté de respirer dans une certaine mesure : *le gaz acide qu'elles produisent est retenu, en ce cas, par la chlorophylle, qui l'empêche de se répandre au dehors de leurs tissus.*

On peut prouver que les choses se passent de cette manière en transportant la plante dans l'obscurité ; alors l'action de la chlorophylle étant suspendue, les feuilles (on l'a prouvé surabondamment), ne dégagent que de l'acide carbonique.

Il n'est même pas nécessaire que les feuilles adultes soient placées dans l'obscurité complète pour exhaler du gaz acide carbonique. Ainsi que je l'ai démontré autrefois, il suffit de les transporter dans un appartement qui n'est éclairé que par des fenêtres latérales, pour neutraliser *en partie* l'influence de la chlorophylle et voir apparaître, pendant le jour, de l'acide carbonique.

Il ne faudrait pas croire, toutefois, que la fonction de la chlorophylle cesse de s'exercer aussitôt que les feuilles, par suite de l'affaiblissement de la lumière, commencent à répandre dans l'atmosphère une faible quantité d'acide carbonique. On se rappelle que M. Boussingault, par des expériences ingénieuses, a prouvé que, même dans la lumière diffuse, les feuilles continuent d'absorber de l'acide carbonique et d'exhaler de l'oxygène. Il faut admettre, conséquemment, que les

deux fonctions propres à ces organes (la respiration et l'assimilation) continuent de s'exercer simultanément; mais que, par suite de l'affaiblissement de la lumière, le pouvoir réducteur de la chlorophylle diminuant proportionnellement, celle-ci est de moins en moins capable de retenir l'acide carbonique émanant de la respiration. Cette impuissance de la chlorophylle n'est absolue que dans l'obscurité complète.

Le pouvoir respiratoire des feuilles est dépendant surtout de la chaleur. J'ai eu bien des fois l'occasion de constater que pendant le jour, alors qu'ils sont maintenus dans la lumière diffuse d'un appartement, ces organes peuvent exhaler plus d'acide carbonique que pendant la nuit, si dans ce dernier cas la température s'est sensiblement abaissée.

On sait, du reste, que la plupart des plantes jaunissent lorsqu'on les maintient dans une chambre, surtout si celle-ci reçoit peu de lumière. En cette situation, elles sont incapables de réparer les pertes de substance qui résultent de la combustion qui s'opère constamment en elles.

Cependant il y a des plantes adultes qui, placées dans l'appareil décrit ci-dessus, exhalent pendant le jour, en pleine lumière et même au soleil, des quantités sensibles d'acide carbonique; mais si l'on y regarde de près, on découvre la raison probable de cette anomalie apparente.

En examinant les différentes parties d'une plante, on voit qu'elle possède, pendant le temps de sa croissance, des rameaux portant des feuilles anciennes, et à leurs extrémités des feuilles jeunes, pâles et riches en protoplasma; or, ainsi que nous l'avons vu, celles-ci exhalent pendant le jour du gaz acide carbonique. On conçoit donc que si l'on fait l'expérience avec une plante ainsi conformée, et surtout si elle est munie de bourgeons prêts à s'épanouir, elle puisse laisser échapper du gaz acide, qui est attiré et fixé par l'eau de baryte placée dans la cloche, avant d'être réabsorbé par l'ensemble des feuilles de la plante.

Ces expériences sont très-délicates, et elles exigeront de ma part, pour en élucider toutes les conditions, un nouvel examen

minutieux et circonstancié. Il me suffit pour le moment d'attester qu'il n'est pas exact d'admettre, d'une manière générale, que les feuilles des végétaux exposées à la lumière du soleil répandent du gaz acide carbonique à toutes les périodes de leur existence.

Dans les recherches de cette nature, il importe d'opérer sur des plantes dont les tiges sont vertes, car on sait que les parties ligneuses, dépourvues de chlorophylle, expirent constamment de l'acide carbonique.

On voit, d'après ce qui précède, que tous les phénomènes que manifestent les feuilles des végétaux dans leurs rapports avec l'atmosphère s'expliquent clairement, du moment qu'on admet le dualisme et la simultanéité des fonctions essentielles à leur vitalité, c'est-à-dire la respiration et l'assimilation du carbone.

V

Des recherches dont je viens de donner les résultats et de toutes celles que j'ai fait connaître depuis plusieurs années, on peut tirer les conclusions suivantes :

Les feuilles des végétaux, dans leurs rapports avec l'air atmosphérique, sont le siége de deux fonctions distinctes :

Par leur protoplasma, elles absorbent l'oxygène et elles produisent constamment de l'acide carbonique.

Par leur chlorophylle, elles inspirent au contraire, pendant le jour seulement, l'acide carbonique, et elles expirent de l'oxygène.

Dans le premier âge, le protoplasma prédomine dans les cellules, la chlorophylle y est peu abondante ; aussi, pendant toute cette période, la fonction respiratoire l'emporte-t-elle sur la fonction chlorophyllienne, et, conséquemment, les feuilles exhalent de l'acide carbonique sans interruption.

A mesure que les feuilles grandissent, le protoplasma diminue et la chlorophylle augmente : on voit alors s'atténuer rapidement chez elles la capacité d'émettre pendant le jour du gaz acide carbonique ; bientôt elles ne dégagent plus que de l'oxy-

gène. Ce n'est désormais qu'en les plaçant dans l'obscurité, ou au moins dans de la lumière diffuse, c'est-à-dire en suspendant plus ou moins l'action de la chlorophylle, qu'on peut mettre en évidence l'effet de la respiration.

Il n'y a donc chez tous les êtres qu'une seule et véritable respiration, et elle est la même pour tous. Le rôle que joue la chlorophylle est d'un ordre différent, c'est un acte d'assimilation.

Ce n'est pas la première fois qu'on émet cette doctrine ; mais je pense que, jusqu'à présent, elle ne reposait pas sur des preuves suffisantes (1).

Dorénavant il ne me paraît plus possible d'en méconnaître l'exactitude ; aussi faut-il espérer qu'on cessera bientôt d'enseigner, ainsi qu'on le fait à peu près partout, que les plantes jouissent de *deux respirations :* une pour le jour, l'autre pour la nuit, et que ces respirations sont d'un ordre inverse. Il est temps que cette théorie erronée disparaisse de la science, pour faire place à la vérité expérimentale, fondée sur une longue et persévérante observation des faits.

(1) Mon savant collègue M. Garreau (de Lille) a fait sur ce sujet, il y a environ trente années, des expériences dont les résultats sont très-importants (*Ann. sc. nat.*, 3e série, t. XIII et XV.)

DISTRIBUTION GÉOGRAPHIQUE

DES PLANTES

DANS LA FLORE DE L'AMÉRIQUE DU NORD

Par Sir Joseph D. HOOKER (1).

De quelque côté que nous portions nos pas dans les contrées tempérées d'outre-mer, nous y trouvons la flore indigène plus ou moins mélangée de plantes européennes et parfois profondément modifiée par l'immigration de ces étrangères, venues, pour la plupart, de l'Europe septentrionale-occidentale. Il y a une quarantaine d'années, arrivé pendant la nuit en vue des îles Falkland, et impatient de me former une idée de leur végétation, je chargeai l'officier qui prenait les devants pour annoncer au gouverneur notre arrivée, de me rapporter à bord les plantes qu'il trouverait sur son chemin. Les ténèbres étaient trop épaisses pour lui permettre de choisir; il ramassa au hasard et m'apporta une poignée d'herbes toute composée de notre vulgaire Bourse-à-pasteur (*Thlaspi Bursa-pastoris*). Dans une autre occasion, débarquant à la petite île inhabitée d'Auckland, au sud de la Nouvelle-Zélande, et presque aux antipodes de Londres, la première plante qui frappa mes yeux fut le Mouron des oiseaux (*Alsine media* L., *Stellaria media* Smith), et, en suivant la ligne que cette plante me traçait, j'arrivai à un petit tumulus sous lequel avait été enterré un matelot anglais. Cette tombe en était couverte, et bien probablement les graines qui l'avaient produite étaient adhérentes à l'outil, bêche ou pioche, apporté d'Angleterre, qui avait servi à creuser la tombe. Je n'eus donc pas lieu d'être surpris

(1) Mémoire lu à la séance du 12 avril 1878 de l'Institution royale de la Grande-Bretagne.

lorsque, l'été dernier, en prenant terre à Boston, je retrouvai le long de ma route quantité de plantes européennes qui m'étaient familières. Celle qui la première attira mon attention fut la Chicorée sauvage (*Cichorium Intybus* L.), mais beaucoup plus forte et plus développée que je ne l'avais vue jusque-là. Par ses hautes tiges et ses rameaux entrelacés elle formait, sur des centaines d'acres de terrain, d'épais massifs émaillés de ces jolies fleurs bleu de turquoise que nous connaissons. Après elle, mes yeux se portèrent sur les fleurs blanches de notre Marguerite des prés (*Chrysanthemum Leucanthemum* L.) et sur celles de la Maroute ou Camomille puante (*Maruta Cotula* DC.), qui couvraient çà et là de larges espaces sur le bord des routes; je les ai retrouvées plus tard toutes deux jusqu'au centre du continent américain, et même plus qu'à moitié chemin entre l'Atlantique et l'océan Pacifique.

Ces plantes et plus de deux cent cinquante autres, toutes originaires d'Angleterre, sont arrivées là avec l'émigration anglo-saxonne, et, comme les Anglo-Saxons eux-mêmes, elles ont attesté à leur manière, en s'établissant dans cette patrie nouvelle, leur supériorité sur les races indigènes qu'elles ont déjà en partie dépossédées de leur ancien domaine.

Si maintenant nous jetons les yeux sur les parties les plus chaudes de l'Amérique du Nord, nous y voyons aussi des plantes de l'ancien continent s'y mêler à la végétation indigène et la déplacer peu à peu. C'est ainsi qu'une plante de l'Inde anglaise, le *Fragaria indica* Andr. (*Potentilla Durandii* Torr. et Gr.), s'est établie dans les rues de Savannah, et s'y est si bien naturalisée, que les botanistes américains l'ont crue indigène et lui ont appliqué un nouveau nom. Toutefois le cas le plus curieux que je connaisse de cette invasion de végétaux étrangers est celui du Manguier (*Mangifera indica* L.) à la Jamaïque, et cette prise de possession de l'île par un arbre qu'elle ne connaissait point jusque-là nous remet en mémoire ces populations humaines qui, faites prisonnières et transportées dans une patrie nouvelle, ont fini par en chasser leurs vainqueurs

ou les absorber dans leur masse. Voici l'histoire de cette introduction :

En 1782, lors de la guerre entre l'Angleterre et la France, l'amiral Rodney avait capturé un navire français frété de Bourbon pour Saint-Domingue et portant des plants de Cannelliers, de Jacquiers et de Manguiers destinés à cette colonie. Ces plants, ayant changé de maîtres, furent donnés au jardin botanique de la Jamaïque. Les Cannelliers y reçurent tous les soins possibles, mais ils se montrèrent rebelles à la culture, comme ils le sont encore aujourd'hui. Les Manguiers, au contraire, qui avaient été négligés, s'accommodèrent si bien du climat de l'île et s'y propagèrent si facilement, que, onze ans plus tard, ils étaient déjà aussi communs dans les plantations que les Orangers, et cela non-seulement dans les plaines, mais jusque sur les montagnes, à 5000 pieds (1600 mètres) de hauteur. Lorsque l'esclavage fut aboli, d'immenses étendues de terres cultivées, et surtout les plantations de Café, tombèrent en friche; mais comme la mangue était le fruit de prédilection des noirs, qui en jetaient les noyaux au hasard, l'arbre se multiplia de toutes parts et sans aucun soin, d'abord le long des chemins et autour des habitations, puis insensiblement dans les lieux incultes de l'île, où il forme aujourd'hui de véritables forêts. L'étendue de pays qu'il occupe s'évalue par centaines de mille acres; mais cette invasion a été un bienfait pour l'île, dont le climat s'est amélioré à mesure que l'ombrage de ces nouvelles forêts s'épaississait et conservait mieux au sol son humidité. A ces avantages s'ajoute celui d'une énorme production de fruits également utilisés pour la nourriture de l'homme et des animaux. Bien probablement un jour viendra où les générations futures, à la Jamaïque, ayant perdu tout souvenir de la victoire de l'amiral Rodney sur le comte de Grasse, ne le connaîtront plus que comme introducteur du Manguier dans leur île.

Il en est de même dans toutes les contrées qui ont été colonisées par les Anglo-Saxons. Les plantes qu'ils y ont transportées inconsciemment s'y sont si parfaitement naturalisées, en Amérique par exemple, que, si leurs descendants venaient un

jour à disparaître sans laisser de traces de leur passage, les plantes introduites par eux resteraient comme un témoignage de leur établissement sur cette terre dans le lointain du passé. Le temps ne me permettant pas d'entrer dans le détail de ces immigrations de plantes accomplies pendant la période historique, j'ai hâte d'examiner ce qu'était la flore de l'Amérique septentrionale avant l'arrivée des Anglo-Saxons, c'est-à-dire dans les temps préhistoriques et géologiques. Nous avons à considérer cette flore d'abord dans son ensemble, puis dans ses diverses parties ou flores locales, caractérisées par certains groupes de plantes qui leur appartiennent en propre. Nous ferons ressortir les relations de ces flores avec les caractères géographiques des aires qu'elles occupent, et nous montrerons par quels liens elles se rattachent à diverses flores étrangères dont on peut les supposer partiellement dérivées. Toutefois, avant d'entrer en matière sur ce sujet, je vous tracerai à grands traits la configuration du continent septentrional américain, configuration qui a déterminé les limites et les caractères particuliers des flores partielles dont j'ai à vous entretenir.

Au voisinage du pôle, les trois continents septentrionaux se rapprochent, et tous les caractères de leur hydrographie et de leur géographie autorisent à penser qu'il fut un temps où ils étaient réunis, ne formant ainsi qu'un seul et immense continent arctique. Ce que nous observons ensuite, c'est qu'en Amérique, contrairement à ce qui a lieu en Europe et en Asie, les grands obstacles qui s'opposent à l'entremêlement des flores, c'est-à-dire les chaînes de montagnes, sont tous à peu près dirigés du sud au nord, et, ce qui en est la conséquence, que les grandes vallées, qui sont les chemins ouverts aux diverses flores pour communiquer entre elles, suivent la même direction. Si maintenant nous imaginons une ligne tirée en travers du continent américain, de l'est à l'ouest, à peu près à la hauteur du 40e parallèle, qui coïncide assez sensiblement avec l'isotherme de 55 degrés (12°,7 centigrades), nous trouverons que cette ligne est celle qui se rapproche le plus du centre

des diverses régions où la flore tempérée américaine atteint son plus complet développement et où se caractérisent le mieux les flores secondaires dans lesquelles nous la divisons.

Commençons notre exploration géographique par l'est. Nous trouvons d'abord la région maritime, qui s'étend de l'océan Atlantique à une première chaîne de montagnes de moyenne élévation, atteignant rarement à 6000 pieds de hauteur (1830 mètres), mais courant du nord au sud, sous les noms d'*Alleghanys* et d'*Apalaches*, depuis le Nouveau-Brunswick, sous le 48e degré, jusqu'à l'Alabama et la Géorgie, sous le 34e. A l'ouest de cette chaîne s'étendent les immenses vallées de l'Ohio, du Mississippi et du Missouri, vallées basses, largement irriguées et fertiles. Le point où ce dernier fleuve rencontre notre ligne idéale est, à très-peu près, au centre du continent et distant de 1300 milles (2080 kilomètres) de l'Atlantique.

A partir du Missouri, le pays s'élève graduellement jusqu'au grand massif des montagnes Rocheuses, enchevêtrement de crêtes abruptes, dont les plus hautes sommités dépassent rarement 14 000 pieds (4270 mètres) de hauteur, et dont l'épaisseur moyenne, de l'est à l'ouest, est de 300 milles (480 kilomètres). Les chaînes secondaires qui composent ce massif séparent les unes des autres de nombreuses et larges vallées désignées sous le nom de *parcs*, bien arrosées et dans la végétation desquelles les Graminées sont très-prédominantes. Les rivières qui les traversent en sortent, pour la plupart, par des gorges étroites auxquelles les habitants, d'origine espagnole, ont donné le nom de *cañons*. A l'est du massif montagneux, les parcs et les vallées verdoyantes, caractérisées, comme nous venons de le dire, par l'abondance des Graminées, constituent ce qu'on appelle les *prairies ;* à l'ouest, tout change d'aspect : la terre y est aride, et la végétation, appauvrie, se compose principalement de buissons grisâtres d'une espèce d'*Artemisia*. L'effet que ces crêtes transversales produisent sur le climat est tel, que souvent l'un des deux versants fait suite à une vallée arrosée et plantureuse, tandis que l'autre appartient à la

région aride dont nous venons de parler. Rien ne saurait donner l'idée d'un pareil contraste.

La descente des montagnes Rocheuses, en allant vers l'ouest, se fait par un plateau de plus de 4000 pieds (1200 mètres) de hauteur supramarine, large de 400 milles (640 kilomètres) et qui atteint le pied de la Sierra Nevada. Toute cette région est entrecoupée de courtes chaînes de montagnes, assez élevées cependant, puisqu'elles dépassent quelquefois la hauteur de 8000 pieds (2400 mètres). Le climat y est sec, le sol imprégné de sel, et plusieurs des rivières qui le traversent vont se perdre dans des lacs et des marais salés, qui ont donné lieu à diverses dénominations locales tirées de ce caractère du pays, telles que *Great Basin*, *Sink*, *Salt lake*, *Desert*, etc. La Sierra Nevada, qui fait suite à ce plateau, s'élève brusquement à la hauteur de 12 000 et quelquefois de 15 000 pieds (de 3660 à 4575 mètres), et, sous différents noms, traverse le continent septentrional de l'Alaska à la pointe méridionale de la Californie, à une distance de 100 à 150 milles (de 160 à 240 kilomètres) du Pacifique ; mais sa largeur n'est nulle part aussi grande que celle des montagnes Rocheuses. Son versant occidental fait face à la grande vallée californienne, dont le fond est peu élevé au-dessus du niveau de la mer, et qui n'est séparée de l'océan Pacifique que par une ligne de collines d'une faible hauteur. A la pointe sud de la Californie, ces collines vont rejoindre les derniers contreforts de la Sierra Nevada.

Jetons maintenant les yeux sur la flore de l'Amérique septentrionale, au nord du tropique. Cette flore, par la distribution de ses plantes, va se montrer en parfaite conformité avec les grands traits de la géographie et des climats qui en résultent. Elle est divisée en vastes districts, allongés dans le sens des méridiens, depuis l'océan Arctique jusqu'au golfe du Mexique, et dont la constitution botanique diffère de plus en plus à mesure qu'on avance vers le sud. Déjà, sous la ligne fictive que nous avons prise pour point de repère, c'est-à-dire aux alentours du 40e degré, la différence est plus grande entre

les districts orientaux et les districts occidentaux qu'elle ne l'est dans toutes les autres régions du globe semblablement placées, c'est-à-dire analogues par leurs latitudes.

Flore polaire. — Quoique uniforme dans son ensemble, la flore arctique américaine est facilement divisible en trois flores secondaires : la première s'étend du détroit de Behring à l'embouchure de la rivière Mackenzie, et elle se caractérise par la présence de certains genres et de certaines espèces asiatiques, qui ne s'avancent pas plus loin vers l'est ; la seconde, juxtaposée à la précédente, trouve sa limite orientale à la baie de Baffin, et elle se distingue à ce qu'elle possède un certain nombre de genres et d'espèces qui lui sont entièrement propres et qu'on ne retrouve point ailleurs ; la troisième est la flore groenlandaise, presque entièrement européenne, mais avec quelques anomalies, que je discuterai plus loin. Outre cette subdivision dans le sens des parallèles, la flore arctique américaine se prolonge vers le sud, en suivant les chaînes de montagnes qui traversent le continent dans la direction des méridiens, ainsi que nous l'avons dit plus haut.

Flore de l'Amérique anglaise. — A la flore arctique succède celle des possessions britanniques, c'est-à-dire d'une région relativement tempérée, située au nord du 47e degré de latitude. Cette flore est un mélange des flores septentrionales de l'Europe et de l'Asie, mais avec des genres purement américains, dont la distribution fort inégale permet de la subdiviser en cinq régions secondaires. La première, en commençant par l'est, est la région boisée du Canada ; la seconde est dépourvue de forêts : c'est le prolongement septentrional de la région des prairies ; la troisième est constituée par les montagnes Rocheuses, où se montrent des genres mexicains ; la quatrième est une région sèche, continuation de celle du désert et des lacs salés ; la cinquième, enfin, est la région du Pacifique, dont la végétation rappelle de très-près celle du Kamtchatka.

Flore des États-Unis. — C'est ici que nous allons voir la flore de l'Amérique septentrionale tempérée atteindre son

plus grand développement en genres et en espèces, sous tous les méridiens, en même temps que les limites méridionales des diverses subdivisions de cette flore deviendront plus nettement tranchées. Elle se partage d'une manière très-naturelle, et pour les raisons géographiques indiquées précédemment, en quatre grandes circonscriptions, ou flores secondaires, que nous allons examiner successivement.

1° *La grande région des forêts de l'est.* — Elle s'étend sur toute une moitié du continent, et sa flore comprend une grande variété d'espèces arborescentes entremêlées, les unes à feuilles caduques, les autres à feuillage persistant. Cette flore, commencée aux rivages de l'Atlantique, s'avance jusqu'au Mississippi, empiétant même, le long des tributaires occidentaux de ce fleuve, sur la région des prairies. Elle est particulièrement remarquable par le nombre tout à fait exceptionnel d'arbres à feuilles caduques et d'arbrisseaux qu'elle contient, même sur de très-petites surfaces. Je puis en citer deux exemples, que je tire du journal de mon voyage. Le premier est celui d'une forêt située à quelques milles de Saint-Louis du Missouri, où, dans l'espace d'un peu plus d'une demi-heure et sur une aire de moins d'un mille de traversée, j'ai rencontré quarante espèces d'arbres de haute futaie, comprenant onze espèces de Chênes, deux Érables, deux Ormes, trois Frênes, deux Noyers, six *Carya*, trois Saules, un Platane, un Tilleul, deux Charmes, un Laurier, un *Diospyros*, un Peuplier, un Bouleau, un Mûrier et un Marronnier, sans compter une vingtaine d'espèces d'arbrisseaux et d'arbustes. Le second exemple m'a été fourni par la petite île de Goat island, qui divise en deux la cataracte de Niagara, et dont la surface est moins grande que celle des jardins de Kew. La végétation y avait un caractère plus boréal que dans le Missouri et elle y était moins variée ; mais je n'y ai pas moins compté, en compagnie du docteur Gray, une trentaine d'espèces d'arbres, dont trois Chênes et trois Peupliers, et une vingtaine au moins d'arbustes et de buissons. Je ne connais aucune autre contrée tempérée du globe où se ren-

contre une telle agglomération d'espèces, à égalité de surface de territoire ; je doute même qu'on puisse rien citer de comparable entre les tropiques.

La flore des États-Unis orientaux n'est pas moins remarquable par sa composition que par sa richesse. Le professeur Gray a déjà fait voir que la majeure partie de ses genres est commune à l'Europe et à l'Asie ; mais il n'y en a qu'un petit nombre qui appartiennent exclusivement à l'Asie orientale et à l'Amérique occidentale. Toutefois cette identité générique ne donne encore qu'une idée incomplète de l'étroite parenté de la flore est-américaine avec la flore est-asiatique, principalement avec celle du Japon, car on signale une identité, non plus seulement générique, mais spécifique, dans deux cent trente cas, et l'on compte en outre plus de trois cent cinquante espèces, sinon tout à fait identiques, du moins très-voisines les unes des autres, réparties sur les deux flores. Ce qui est plus curieux encore, c'est qu'il y a un nombre considérable de genres, dont on ne connaît jusqu'ici que deux espèces, dont l'une appartient à l'Asie orientale et l'autre à l'Amérique orientale ; dans quelques cas même l'espèce asiatique occupe une aire très-vaste, tandis que l'espèce américaine est rare et très-localisée, circonstance qui porterait à croire que l'élément asiatique de la flore américaine est sur son déclin et tend à disparaître.

Laissons de côté les genres purement américains pour nous occuper seulement de ceux qui sont communs à l'Europe, à l'Asie et à l'Amérique, puis de ceux qui sont confinés en Amérique et en Asie, et enfin de ceux qui n'appartiennent qu'à l'Amérique et à l'Europe. Je donnerai une idée de ces rapports entre les flores des trois continents par l'énumération d'un certain nombre d'arbres dont les noms sont familiers à tout le monde ; mais je ne dois pas laisser ignorer que ces rapports seraient infiniment mieux établis si l'on voulait considérer non plus seulement les grands arbres, mais toutes les espèces arbustives et herbacées de ces flores. Cela posé, et pour vous faire saisir du premier coup d'œil les traits com-

muns aux trois continents que nous considérons ici, je vous dirai qu'il y a trente-huit genres d'arbres américains, comprenant environ cent cinquante espèces, qui ont leurs similaires en Europe et en Asie, parmi lesquels je me contenterai de vous citer les Érables, les Frênes, les Houx, les Ormes, les Platanes, les Chênes, les Châtaigniers, les Noyers, les Charmes, les Bouleaux, les Aunes, les Saules, les Peupliers, etc. Examinant maintenant les points communs de la flore américaine et de celle de l'Asie orientale, nous trouvons trente-trois genres et cinquante-cinq espèces, comprenant des Magnolias, des Tulipiers, des *Negundo*, des *Wistaria*, des *Bignones*, des *Gleditschia*, des *Hydrangea*, des *Liquidambars*, des *Nyssa*, des *Tecoma*, des Catalpas, des *Diospyros*, des Mûriers, des Lauriers, des Noyers, etc., toutes plantes qui, n'étant point indigènes en Europe vous sont peu familières. Enfin, entre l'Europe et l'Amérique orientale, je ne trouve à citer qu'un seul genre qui leur soit exclusivement commun, c'est l'*Ostrya*, dans lequel on ne connaît que deux espèces, dont l'une est européenne (*O. carpinifolia*) et l'autre américaine (*O. virginica* Willd).

Il est donc de toute évidence qu'il y a une très-grande affinité botanique entre l'Asie nord-orientale et le nord-est de l'Amérique. Nous allons voir cette affinité notablement diminuée dans la région des prairies et dans les montagnes Rocheuses, et plus annulée encore, s'il est possible, dans les régions situées plus à l'ouest.

2° La *région des prairies*, qui fait suite à la précédente, est, comme je l'ai déjà dit, une vaste plaine herbeuse, où dominent les Graminées, mais où l'on trouve aussi de nombreux genres de plantes herbacées d'autres familles et pour la plupart exclusivement américains. Quelques types de la flore mexicaine commencent à s'y montrer, entre autres un Yucca et quelques Cactus ; mais ces derniers deviendront plus nombreux à mesure que nous avancerons vers les montagnes Rocheuses, où ils formeront un des traits les plus saillants du paysage.

Dans les parcs et les basses vallées des montagnes Rocheuses les arbres à feuilles caduques sont peu nombreux et très-disséminés, et ce qu'on y appelle la *forêt* consiste en arbres conifères plus ou moins clairsemés, parmi lesquels un Pin, le *Pinus edulis*, analogue aux espèces nucamenteuses du Mexique, est le premier à se montrer. En s'élevant sur les montagnes, les forêts de Conifères deviennent plus denses, et, en fait d'arbres à feuilles caduques, on n'y rencontre plus guère qu'un Tremble (*Populus*), confiné dans les gorges ou au fond des vallées. Au-dessus de la zone forestière, on entre dans les zones subalpine et alpine, caractérisées par le mélange de types européens, américains et asiatiques. C'est, ainsi que nous l'avons déjà dit, la continuation de la flore arctique.

3° *La région des lacs.* — Descendons maintenant dans la région des lacs salés. A mesure que nous avançons, nous voyons disparaître presque en totalité les Yuccas et les Cactus, quoique ces deux formes de la végétation locale atteignent leur maximum de développement plus loin vers le sud, sous les mêmes méridiens. Les arbres à feuilles caduques y sont rares et toujours confinés dans les gorges des montagnes, et la flore mexicaine s'y montre représentée par des genres de plus en plus nombreux. L'Armoise velue y couvre d'immenses étendues de sol aride, tandis que les dépressions où se conserve plus longtemps l'humidité sont presque exclusivement peuplées des espèces qui recherchent les terrains salés. Une seconde espèce de Pin nucamenteux (*P. monophylla*), analogue à ceux du Mexique, traverse plus au sud le centre de cette région sur une bande étroite, et la proportion des plantes endémiques, principalement herbacées, y devient considérable.

4° La *Sierra Nevada* est couverte de forêts, composées des plus gigantesques Conifères qui existent sur le globe, et parmi lesquelles on ne trouve qu'un nombre excessivement réduit d'arbres à feuilles caduques très-clairsemés. Aucun de ces arbres n'est identique à ceux des forêts de la région orientale, quoique plusieurs appartiennent aux mêmes familles ou aux

mêmes genres. La flore mexicaine gagne ici du terrain, et l'on en trouve des représentants à toutes les hauteurs, depuis le pied des montagnes jusqu'à leur sommet; elle s'avance de même à l'ouest jusqu'à l'océan Pacifique, en traversant la grande vallée californienne et les collines qui la séparent de la mer, se mêlant dans ce trajet aux genres et aux espèces caractéristiques de la flore nord-occidentale américaine.

Dans ce rapide coup d'œil jeté sur les traits les plus saillants de la flore arctique et de la flore tempérée de l'Amérique du Nord, j'en ai signalé trois comme plus particulièrement dignes d'attirer notre attention : la végétation du Groenland, le caractère asiatique de la flore dans la moitié orientale du continent, et le caractère plus méridional et même mexicain de la flore de la moitié occidentale. Quelle explication pouvons-nous donner de ces trois phénomènes ?

Il est arrivé que, sans nous être concertés, le docteur Gray, professeur de botanique au collége d'Harvard, et moi, nous nous sommes trouvés engagés presque en même temps dans des recherches qui devaient nous conduire à expliquer de la même manière les deux premiers points. Il s'occupait de la flore du Japon (1), moi de celle de la zone polaire (2), et nous étions l'un et l'autre amenés à fonder des conjectures sur la variabilité des espèces, sujet que M. Darwin venait de traiter magistralement (3), et dont les idées, je n'ai pas besoin de le dire, ont puissamment influé sur les nôtres.

Commençons par la question du Groenland, quoique seconde en date et de moindre importance que les deux autres. Les principales particularités de sa flore sont : 1° Que presque toutes ses plantes sont scandinaves, c'est-à-dire nord-ouest-européennes, car c'est à peine si quelques espèces des côtes arctiques américaines et des îles polaires ont traversé la baie

(1) *Observations upon the Relations of the Japanese Flora to that of North-America*, etc., 1858 et 1859.

(2) *Outlines of the Distribution of Arctic Plants*, etc., 1860.

(3) *On the tendency of Species to form varieties*, by Ch. Darwin, esq., etc., 1858.

de Baffin et le détroit de Davis; 2° que sur ses trois cents espèces phanérogames, il n'y en a presque aucune qui se soit sensiblement écartée par variation de son prototype scandinave; 3° que le Groenland est plus pauvre en espèces que n'importe quelle autre division de la flore arctique, et qu'il manque de beaucoup d'espèces scandinaves qui se retrouvent dans la plupart des autres régions de mêmes latitudes; 4° que, bien que le Groenland s'étende à 400 milles (640 kilom.) au sud du cercle polaire, ce prolongement n'ajoute à sa flore qu'une centaine d'espèces, qui toutes franchissent le cercle polaire sous d'autres longitudes; 5° que quelques-unes de ses espèces lui sont communes avec les montagnes de la côte atlantique de l'Amérique et ne se retrouvent nulle part ailleurs dans l'Amérique arctique et subarctique.

J'ai expliqué ces anomalies en disant qu'à une époque antérieure à la période glaciaire, une flore commune à la Scandinavie et au Groenland s'étendait sur toutes les régions polaires de l'Amérique, mais que, lorsque survint le refroidissement, cette flore fut chassée vers le sud et fut diversement modifiée sous les diverses longitudes. Au Groenland, beaucoup d'espèces, une fois acculées à sa pointe méridionale, où elles ont rencontré la barrière de la mer, ont été exterminées par le froid; les plus résistantes seules ont survécu. Lorsque le climat du Groënland se fut réchauffé, les plantes qui s'étaient conservées remontèrent vers le nord; la péninsule se repeupla des espèces les plus vigoureuses de sa flore antéglaciaire, sans mélange de plantes américaines; et comme ces espèces n'avaient point été en compétition avec celles d'une flore différente, elles ne subirent aucun changement notable. En dehors du Groenland, d'autres conditions géographiques amenèrent des résultats différents; ces mêmes plantes scandinaves, refoulées vers le sud, dans les plaines continentales, s'y multiplièrent en individus; mais ici entrant en lutte avec une flore américaine que le froid croissant chassait des montagnes, elles se modifièrent plus ou moins et donnèrent naissance à ces formes secondaires que nous appelons variétés. Quand, après la période glaciaire,

le climat arctique se réchauffa, un bon nombre d'espèces scandinaves qui avaient péri dans le Groenland, mais qui avaient survécu dans le continent, reprirent leur route vers le nord, les unes sous leur figure première, les autres plus ou moins déviées de leur ancien type, accompagnées de ces espèces américaines que le froid avait chassées des montagnes. Enfin, comme quelques-unes de ces espèces scandinaves étaient sans doute localisées sur les méridiens du Groenland, on s'explique facilement que celles qui ont survécu à la période glaciaire dans cette grande péninsule se retrouvent aujourd'hui sur les sommets alpins de la chaîne orientale de l'Amérique du Nord.

Les rapports si frappants qui existent entre la flore du nord-est de l'Asie et celle du nord-est de l'Amérique ont été expliqués de la manière la plus satisfaisante par le professeur Asa Gray, dans son *Essai sur la flore du Japon*, et c'est, à ma connaissance du moins, la première application de notre science à la solution d'un problème de géographie botanique qui ne laisse rien à désirer.

Après une comparaison minutieuse de la flore japonaise avec celle de l'Amérique du Nord, le docteur Gray, s'appuyant sur le fait, démontré par Heer et par d'autres paléontologistes, que dans les temps miocènes beaucoup de genres et même beaucoup d'espèces communes aux deux régions coexistaient sous les hautes latitudes de l'Amérique, arrive à cette conclusion : que les trois continents septentrionaux se rejoignaient à cette époque, ou étaient du moins si peu séparés par la mer, que leurs flores ont pu facilement s'entremêler. Mais la période glaciaire est survenue, faisant descendre les frimas arctiques jusqu'au-dessous de la latitude de l'Ohio, avec tant de lenteur toutefois que les plantes, au lieu de périr, se sont en grande partie acheminées vers le sud, laissant le champ libre à la végétation arctique qui suivait le même mouvement de translation. Quand le climat se fut réchauffé et que les glaciers eurent disparu, cette flore immigrée rebroussa chemin vers le nord, laissant, comme traces de son passage, des plantes

arctiques et subarctiques sur les sommets des montagnes à l'ouest et à l'est du continent.

Le docteur Gray nous montre ensuite que, dans leur retraite vers le nord, les plantes ont un peu dépassé les latitudes sur lesquelles elles sont aujourd'hui arrêtées, et il explique le fait en faisant intervenir la période fluviale de Dana (1), quand la région des lacs était submergée et à 500 pieds (152 mèt.) au-dessous de son niveau actuel. L'extension des lacs et l'abaissement du niveau général de la contrée, en adoucissant la rigueur des hivers, ont aidé la flore à s'élever plus haut en latitude qu'aujourd'hui, ce qui a amené un second mélange de plantes asiatiques et de plantes américaines. Enfin est survenue l'époque terrassière de Dana, pendant laquelle cette région fut de nouveau soulevée, ce qui eut pour conséquence un certain refroidissement de son climat, et, par suite, la dissociation des deux flores et la limite actuelle des espèces arctiques et subarctiques du continent.

Il nous reste maintenant à expliquer la grande rareté des types est-asiatiques en Amérique, à l'ouest des prairies, ainsi que la présence sous ces mêmes méridiens de types mexicains ou plus méridionaux encore. Tout ce qu'on a imaginé jusqu'ici pour en rendre compte se réduit à des théories purement gratuites; à celle-ci, par exemple, que la moitié occidentale du continent américain, quoique beaucoup plus élevée que l'autre, était submergée pendant la migration des plantes septentrionales miocènes vers le sud; ou à cette autre, que le climat de l'ouest était incompatible avec le tempérament de ces plantes. La première hypothèse est insoutenable parce qu'elle ne s'appuie sur rien; quant à la seconde, elle est en contradiction formelle avec ce fait, que les plantes dont il est question ici y croissent avec la plus grande vigueur quand on les y a transportées.

(1) Ces pages étaient sous presse quand une lettre du docteur Gray m'a informé qu'il accordait peu de confiance à la théorie de Dana pour rendre compte du fait dont il est question ici, et qu'il était aujourd'hui plus disposé à voir dans l'invasion glaciaire la cause unique et définitive de la séparation des flores septentrionales.

L'explication que je vais proposer à mon tour sera mieux comprise si l'on se reporte à la section idéale du continent que nous avons proposée plus haut (voy. la planche), qui nous montre que la moitié occidentale du continent est énormément élevée comparativement à la moitié orientale, ce qui la rendait singulièrement propre à conserver de vastes amas de glace, longtemps après que la période glaciaire eut cessé. Nous y trouvons une vallée (le Désert) de plus de 400 milles (640 kilom.) de largeur et de plus de 4000 pieds (1200 mèt.) de hauteur, sur laquelle plusieurs petites chaînes de montagnes atteignent jusqu'à 8000 pieds (2400 mèt.) d'altitude, et qui est elle-même enfermée entre deux systèmes montagneux d'une grande hauteur, et dont l'épaisseur couvre au moins les deux tiers de la surface de la moitié occidentale du continent. Nous savons en outre que ces montagnes ont été entièrement couvertes de glaces pendant la période glaciaire, et que la grande vallée était un lac d'une immense étendue. Ce qui le prouve, c'est que sur les nombreux gradins que les eaux du lac, en se retirant, ont dessinés à droite et à gauche sur les flancs des montagnes Rocheuses et de la Sierra Nevada, on a trouvé le crâne d'un Bœuf musqué, le quadrupède terrestre qui s'avance le plus loin dans les régions arctiques.

Il est de toute évidence que cette vaste région occidentale a dû conserver son manteau de glace pendant un nombre incalculable de siècles après que l'Amérique orientale s'était déjà assez réchauffée pour voir remonter vers le nord les plantes que le froid en avait chassées, et que le climat glaciaire qui continuait dans la moitié occidentale y arrêtait cette migration du sud au nord. D'ailleurs beaucoup de plantes émigrées du nord avaient dû périr en atteignant les rivages méridionaux de la Californie. Bien des siècles après, quand les glaciers occidentaux eurent disparu et que les vallées se furent réchauffées, les plantes du Mexique, et même de régions plus méridionales, ont naturellement pris possession de ce sol inoccupé, et cheminé ainsi vers le nord, jusqu'à ce qu'elles rencontrassent la végétation boréale qui marchait elle-même

à leur rencontre, et avec laquelle on les trouve aujourd'hui mêlées.

J'ai dit que l'extinction des types est-asiatiques dans l'Amérique occidentale n'était pas complète. En effet, quelques-uns de ces types se retrouvent encore dans les vallées des montagnes Rocheuses et de la Sierra Nevada (1), ainsi que le long de la côte du Pacifique, dont l'influence réchauffante a aidé à leur conservation après que le froid les eut fait descendre du nord.

Au nombre des végétaux qui survivent à ces migrations il en est deux qui présentent un tel intérêt, que je ne puis me dispenser de vous en entretenir en terminant cette notice : ce sont ces géants du règne végétal connus sous le nom de *Sequoia*, le *S. sempervirens*, le *Red Wood* des Américains, et le *S. gigantea*, leur *Big tree*, plus connu dans les jardins de l'Europe sous le nom de *Wellingtonia*.

Les restes fossiles de ces deux arbres, spécifiquement très-voisins l'un de l'autre, se rencontrent dans les couches miocènes des hautes latitudes, sur toute la périphérie arctique : à l'île Vancouver, à Sitka, au nord de l'Amérique, au Groenland, au Spitzberg, sur les côtes les plus septentrionales de l'Asie, etc. Ce genre, dont la première apparition eut lieu à l'époque crétacée, fit indubitablement partie de cette flore asiatico-américaine qui fut poussée vers le sud par les frimas de la période glaciaire. Aujourd'hui, réduit à deux espèces, il est confiné dans la région nord-ouest de l'Amérique, mais il a des analogues très-voisins dans le *Taxodium* de l'Amérique

(1) On trouve de ces types asiatiques jusque sur les plateaux élevés du Mexique central, qu'ils n'ont plus quittés. Tels sont les genres éminemment asiatiques : des *Bocconia*, *Meliosma*, *Photinia*, *Cotoneaster*, *Deutzia* et *Abelia*.

Les *Photinia*, auxquels fait allusion sir Joseph Hooker, appartiennent à un genre essentiellement américain, l'*Heteromeles*; les *Cotoneaster* de la même région constituent de leur côté un groupe très-remarquable, qui se distingue des *Cotoneaster* de l'ancien continent par leurs fruits bacciens, ovoïdes, blancs lavés de carmin, d'apparence cireuse et complétement dépourvus de noyaux. Mais nous pouvons citer comme bien caractéristique une espèce du genre *Pygeum* (*P. ilicifolium* Dcne = *Cerasus ilicifolia*), dont toutes les autres espèces sont asiatiques (Réd.).

orientale et dans le *Glyptostrobus*, qui appartient aux parties les plus orientales du nord de l'Asie.

La distribution géographique de nos deux *Sequoia* est des plus instructives. Le *sempervirens* constitue une épaisse bande forestière de peu de largeur, mais longue d'environ 500 milles (800 kilom.), qui suit les bords de l'océan Pacifique, le long desquels il a, grâce à une température plus douce, insensiblement remonté vers le nord à la fin de la période glaciaire. Par ses proportions il rivalise avec son congénère de la Sierra, et, comme lui, arrive à une vieillesse prodigieuse; cependant je n'ai rien trouvé dans mes recherches qui pût me renseigner sur l'âge qu'il peut atteindre.

Le *S. gigantea* s'accommode d'un climat moins tempéré; aussi, après le refroidissement glaciaire, a-t-il pu s'établir dans la Sierra Nevada, sous de certaines conditions d'ailleurs assez restreintes. Cantonné sur les versants occidentaux de la Sierra, il y forme une ligne interrompue, dont les extrémités dépassent un peu au nord et au sud l'intervalle compris entre les 36e et 38e degrés de latitude, formant ainsi une bande forestière d'environ 200 milles (320 kilom.), dont la direction est nord-ouest-sud-est, et cela à des altitudes de 5000 à 8000 pieds (de 1500 à 2500 mètres) au-dessus des mers. A l'extrémité septentrionale de la bande, les arbres sont en petits groupes isolés, de quelques centaines au plus d'individus et auxquels s'entremêlent des Pins gigantesques et des Sapins, qui semblent leur disputer le sol : tels sont les groupes de Calaveras, Mariposa et quelques autres, souvent visités par les touristes. A l'extrémité sud, au contraire, l'arbre constitue une forêt colossale de 40 milles (64 kilom.) de longueur sur une largeur de 3 à 10 (de 5 à 16 kilom.), dont la continuité n'est plus interrompue que par ces profondes coupures des montagnes désignées sous le nom de *cañons*, et il exclut tous les autres arbres de l'aire qu'il occupe. C'est là aussi qu'il arrive à la taille la plus gigantesque. Vue d'une certaine distance, cette forêt ressemble à d'énormes vagues de verdure moulées sur les reliefs plus ou moins abrupts de la chaîne.

Mais le fait le plus remarquable dans cette distribution des groupes de *Sequoia*, c'est qu'ils n'occupent sur la Sierra que les points qui furent mis à nu quand le manteau de glace se divisa en glaciers isolés. C'est ainsi, en commençant notre observation par le nord, que le relief montagneux de 40 milles (64 kilom.) de diamètre qui sépare les groupes forestiers de Calaveras et de Tuolome, était occupé par le grand glacier des rivières Tuolome et Stanislas; que l'intervalle des groupes de Merced et de Mariposa était couvert par le glacier de la rivière Merced, qui a sculpté les rochers de la célèbre vallée de Yosemite, et ainsi de suite, chaque massif de *Sequoia* se cantonnant toujours sur les sommets interposés aux glaciers. La grande forêt continue de 40 milles, qui termine la bande vers le sud, ne fait point exception; en l'observant avec quelque soin, on reconnaît qu'elle doit sa continuité à des conditions topographiques particulières, qui excluaient de cette partie de la Sierra les grandes accumulations de glace.

M. Muir, observateur attentif et pénétrant, qui a étudié avec beaucoup de soin tous les massifs de *Sequoia* en longueur et en largeur, et auquel je dois la majeure partie des informations que j'ai pu recueillir sur ces arbres, est d'avis que, depuis l'époque glaciaire, ils n'ont jamais occupé plus d'espace ni présenté plus de vigueur de végétation qu'aujourd'hui; il doute même que la forêt soit arrivée à son apogée, fondant cette opinion sur la puissance de développement des arbres, la force en quelque sorte juvénile dont ils sont doués, la multitude des jeunes sujets de semis qui pullulent sous les arbres plus âgés, et enfin sur l'absence totale de traces de *Sequoia* tels qu'arbres morts, vieilles souches, cavités laissées dans le sol par la décomposition du bois, etc., en dehors des limites actuelles de la forêt.

Ce qu'on a publié jusqu'ici sur l'âge, la taille, la longévité des *Sequoia* et la durée de leur bois quand ils ont été abattus, est si peu certain, que je crois vous intéresser en vous communiquant les détails que j'ai obtenus de M. Muir sur ces divers points. Un arbre abattu en 1875 semblait n'avoir pas d'âge

assignable. Sa circonférence *en dedans* de l'écorce était de 69 pieds (20m,48), et le nombre de ses couches annuelles, comptées par trois personnes, variait entre 2125 et 2139. Un autre *Sequoia*, qui, à 4 pieds (1m,20) du sol, mesurait sous l'écorce 107 pieds (32m,53) de circonférence, et dont le bois était très-compacte, montrait, jusqu'à une grande profondeur dans le tronc, 30 couches annuelles de bois par longueur de pouce. Si l'épaisseur de ces couches était la même jusqu'au centre de l'arbre, le calcul donnerait l'âge vraiment incroyable de 6400 ans ; mais les couches intérieures de ces arbres étant toujours plus épaisses que celles de l'extérieur, il semble plus raisonnable de n'admettre pour l'arbre en question que la moitié de cet âge, soit 3200 à 3500 ans. Le seul exemple que je connaisse d'un calcul satisfaisant sur la longévité du *Sequoia* est celui d'un arbre abattu dans le groupe de Calaveras, qui avait 70 pieds (20m,80) de tour sous l'écorce, à 6 pieds du sol, et qui, à 36 pieds plus haut (10m,33), présentait 1255 couches annuelles. Dans cet arbre, les couches extérieures, voisines de l'écorce, étaient de 33 par longueur de pouce, nombre qui, à 5 pieds plus avant vers le centre, était réduit de moitié. Le résultat de plusieurs mesurages de *Sequoia*, principalement par M. le professeur Whitney, géologue de l'État, assigne pour hauteur moyenne des arbres adultes 275 pieds (83m,60), et une hauteur maximum un peu supérieure à 320 pieds (97m,28). La circonférence moyenne en dehors de l'écorce est de 70 pieds (20m,80) avec un maximum de 120 (36m,50). L'âge maximum que l'arbre pourrait atteindre serait de 4000 ans, mais ceci est fort improbable.

La durée du bois de *Sequoia* est très-grande. J'ai rarement observé des traces de décomposition sur celui d'arbres abattus que j'ai examinés, tandis que, dans les forêts semblables de la Californie du Nord, j'ai vu des troncs gigantesques de Sapins argentés formant des monceaux de bois pourri, sans un atome de bois sain, et cela, m'a-t-on dit, deux ans après leur chute. Je n'ai aucune donnée sur le temps que les troncs de *Sequoia*

ont passé couchés sur le sol, mais M. Muir m'a fourni un fait des plus curieux, qui atteste bien la longue durée de leur conservation. C'est celui d'un tronc brisé en deux par un incendie de la forêt, et dans la fracture duquel s'était développé un Sapin argenté. Ce Sapin fut abattu, et l'on compta sur sa coupe transversale trois cent quatre-vingts couches annuelles de bois. Par conséquent, pour évaluer le temps pendant lequel le tronc du *Sequoia* s'était conservé en bon état, nous devons ajouter aux trois cent quatre-vingts ans de la croissance du Sapin tout le temps inconnu qui s'était écoulé depuis la chute de ce tronc jusqu'à la germination de la graine du Sapin.

Les milliers d'années pendant lesquelles les *Sequoia* ont dû rester sur la place qu'ils occupent aujourd'hui et qui prouvent la longue durée des conditions climatériques sous lesquelles ils vivent, ne sont encore que des minutes comparativement au temps qu'il a fallu à cette espèce pour opérer sa migration du nord vers le midi sur le continent américain. Quelle qu'ait pu être d'ailleurs la longueur de son voyage, il est certain que ce voyage est fini. C'est l'homme qui a prononcé la sentence : « Tu n'iras pas plus loin ! » La condamnation de ces nobles forêts est arrêtée. Tout récemment cinq grandes scieries mécaniques ont été établies dans la plus florissante de ces forêts, et une seule de ces usines a débité, en 1875, deux millions de pieds cubes de bois du *Big tree*. Une nouvelle compagnie vient de se former pour l'abatage d'un autre groupe. Dans ces exploitations californiennes le gaspillage des arbres est effrayant. On commence par abattre les arbres jeunes et encore maniables, après quoi on incendie la forêt pour l'éclaircir et pouvoir atteindre d'autres arbres jeunes, ce qui empêche toute reproduction de l'espèce. Mais ce qui est plus destructif encore, ce sont les opérations des fermiers éleveurs de moutons, qui mettent le feu à toute végétation arborescente et arbustive pour étendre et améliorer le pâturage, sur lequel des troupeaux, qui se comptent par dizaines de mille têtes, broutent jusqu'à la dernière feuille. Les sauterelles font moins de ravages. La dévastation des forêts californiennes s'exécute

sur une si vaste échelle et avec tant de rapidité qu'on ne saurait s'en faire une idée avant de l'avoir vu. Il est vrai que quelques-uns des groupes les plus insignifiants de *Sequoia*, à l'extrême limite nord de l'aire de l'espèce, sont protégés par une loi de l'État, qui défend de couper les arbres de plus de quinze pieds de diamètre ; mais il n'y a pas de loi pour protéger les jeunes arbres qui renouvelleraient la forêt, ni pour défendre d'incendier les vieux. Et ceux-là même, s'ils échappent au feu des ravageurs, n'échapperont point à la sécheresse, suite inévitable des déboisements du pays.

Depuis vingt-cinq ans, l'Anglo-Saxon s'est jeté avec une rage aveugle, le feu et la scie à la main, sur les forêts de la Californie, détruisant tout ce qu'il ne pouvait utiliser, n'épargnant rien, ni arbres jeunes, ni arbres vieux. Il ne s'écoulera peut-être pas un siècle que les deux *Sequoia* ne seront plus connus que comme échantillons d'herbiers ou ornements de nos jardins, et, en ce qui concerne plus spécialement le *Big tree*, le plus noble de la noble tribu des Conifères, la génération qui l'a découvert pourra durer assez longtemps pour dire : Voici la place où il a vécu ! *Hic fuit Ilium !*

SUR L'ASSIMILATION

DES SUBSTANCES MINÉRALES PAR LES PLANTES

Par M. P. P. DEHÉRAIN

Docteur ès sciences, aide-naturaliste au Muséum d'histoire naturelle.

Deuxième Mémoire.

ASSIMILATION DE LA SOUDE.

En 1865, j'ai présenté à l'Académie des sciences, sur la question qui m'occupe encore aujourd'hui, un mémoire qui a reçu sa haute approbation (1). J'ai essayé, dès cette époque, de montrer que les phénomènes de diffusion suffisent à faire comprendre comment les végétaux choisissent dans le sol certaines matières minérales de préférence à certaines autres.

L'analyse des cendres dévoile cependant quelques cas particuliers qui paraissent faire exception aux règles générales que j'ai posées, et j'ai dû reprendre cette question pour reconnaître si les exceptions n'étaient qu'apparentes et rentraient dans ces règles générales, ou si au contraire celles-ci devaient être modifiées.

M. Peligot, notamment, a montré depuis plusieurs années déjà que la soude ne se rencontrait pas habituellement dans les cendres des végétaux; j'ai cherché à quelle cause il fallait attribuer son absence, et je résumerai ici les expériences que j'ai exécutées sur ce sujet : elles m'ont occupé pendant fort longtemps, puisque mes premiers essais remontent aux années 1868 et 1869.

(1) L'Académie a décerné à ce mémoire le prix Bordin; le travail a été publié *in extenso* dans les *Annales des sciences naturelles*, BOTANIQUE, 5e série, 1867, t. VIII, p. 145.

I

Sur la répartition de la potasse et de la soude dans les végétaux. Travaux de M. Peligot.

La similitude de propriétés qui existe entre la potasse et la soude a conduit beaucoup d'auteurs à supposer *à priori* que ces deux bases peuvent se remplacer dans les végétaux comme elles se remplacent dans nombre d'opérations chimiques et industrielles. On aurait bien vite reconnu que cette idée était inexacte si la soude se dosait aisément, mais la difficulté qu'on rencontre à l'isoler régulièrement a décidé pendant longtemps les chimistes à apprécier cette base par différence.

L'idée que la soude existait dans les cendres des végétaux avait été admise sans discussion : la plupart des analystes ne cherchaient même pas, par des essais qualitatifs, à constater sa présence; on la portait de confiance au tableau de l'analyse, et le chiffre qui la représentait était d'autant plus fort que pendant l'analyse laborieuse des cendres on avait fait plus d'erreurs par défaut.

M. Peligot a donné, au début de ses recherches, un procédé qui permet de déceler avec certitude la présence de la soude : il y réussit en éliminant la chaux, la magnésie, l'acide phosphorique, l'acide sulfurique et l'acide carbonique par la baryte. Dans la liqueur qui ne renferme plus que la potasse, la soude et la baryte en excès, on fait passer un courant d'acide carbonique et l'on porte à l'ébullition; la baryte étant séparée par le filtre, on transforme les alcalis ainsi isolés en azotates, de façon à séparer par cristallisation la plus grande partie du salpêtre; on convertit enfin ces azotates en sulfates neutres. Si la potasse est pure, exempte de soude, les cristaux transparents de sulfate de potasse ne changent pas d'aspect par la dessiccation; si au contraire la potasse est mêlée à la soude, le sulfate de soude s'effleurit, et l'aspect blanchâtre que prennent bientôt les cristaux des sulfates décèle la présence de la soude.

En employant cette méthode de recherche, M. Peligot est

arrivé à se convaincre que la soude était très-rare dans les cendres des plantes terrestres, et qu'à l'exception de quelques espèces qui se plaisent sur le bord de la mer, les végétaux ne renferment pas une quantité de soude suffisante pour être décelée par le procédé très-précis que nous venons de rappeler.

Dès l'époque où M. Peligot a publié son important travail, j'ai répété ses analyses, et bien que j'aie employé un procédé différent du sien, je suis arrivé à des résultats identiques.

J'isole les alcalis par la baryte, comme M. Peligot ; mais au lieu de caractériser la soude par l'efflorescence de son sulfate, j'ai préféré la reconnaître en produisant du chloroplatinate de sodium, qui se présente sous forme de longues aiguilles rouges très-différentes des cristaux octaédriques du chloroplatinate de potassium.

J'ai cherché en vain la soude dans les cendres de différentes plantes et notamment dans celles des Haricots et des Pommes de terre, que M. Peligot avait reconnu depuis longtemps ne renfermer que de la potasse.

Je n'ai même pas pu constater la présence de la soude dans des Pommes de terre que j'avais plantées au champ d'expériences de Grignon en 1869 et qui avaient été arrosées à l'aide de dissolutions de chlorure de sodium, d'azotate, de phosphate, de sulfate et de carbonate de soude : aucun des sels versés en dissolution au pied des plantes n'y avait pénétré.

J'ai communiqué à cette époque ce résultat à M. Peligot, qui a bien voulu l'insérer dans son mémoire de 1871, publié dans les *Annales de chimie et de physique*.

En 1874, au Muséum, j'ai arrosé un Haricot enraciné dans une bonne terre de jardin, placé dans un pot à fleur ordinaire, avec une dissolution de chlorure de sodium ; ce sel a été donné à diverses reprises pendant la durée de la végétation : la plante a fini par périr. Je l'ai brûlée, et si j'ai pu constater dans les cendres une quantité considérable de chlorure, je n'ai pas pu obtenir les cristaux de chloroplatinate de sodium. Ainsi, non-seulement, comme l'a reconnu M. Peligot,

les plantes terrestres développées dans des conditions normales ne renferment pas de soude, mais encore l'arrosage à l'aide des sels de soude ne suffit pas pour que cette base pénètre dans les végétaux en quantité suffisante, pour que sa présence soit constatée par les procédés précédents.

Une expérience déjà ancienne m'avait donné cependant un résultat différent : en 1869, j'avais élevé à Grignon une Pomme de terre dans du sable placé dans un pot à fleur, je l'avais arrosée avec des dissolutions renfermant de la soude ; j'avais brûlé la plante quand elle était arrivée au terme de son développement, et j'avais pu obtenir, de l'eau de lavage des cendres, une quantité sensible de chloroplatinate de sodium.

Ainsi, bien que très-habituellement la soude ne se rencontre pas dans les cendres des végétaux terrestres, il est possible cependant dans quelques circonstances de déterminer son assimilation. Quelles sont ces circonstances ? A quelle cause faut-il attribuer l'absence habituelle de cet alcali ?

Tels sont les points sur lesquels j'ai porté mon attention.

II

Absorption du chlorure de sodium par les Haricots enracinés dans l'eau.

J'ai repris, en 1874, cette étude de l'assimilation de la soude, et j'ai employé un mode de recherche qui, encore peu usité dans les laboratoires français, est très-employé au contraire par les physiologistes allemands, et les a souvent conduits à des résultats intéressants.

Au lieu de semer les Haricots sur lesquels je voulais opérer dans du sable ou toute autre matière inerte dont la pureté est toujours difficile à constater, j'ai suivi le développement de plantes enracinées dans l'eau ; on ajoute à celle-ci les matières sur lesquelles on veut opérer, et l'on peut, en mesurant et en analysant le liquide, constater aisément les modifications qu'il a subies.

J'ai opéré surtout sur les Haricots d'Espagne que j'ai fait germer en les plaçant sur des baguettes de verre entrecroisées

et recouvertes d'une mince couche d'eau (1). Le Haricot reste ainsi assez humide pour germer régulièrement. Quand la radicelle a un centimètre de long environ, on l'introduit dans un trou pratiqué sur un bouchon plat qui ferme un flacon ordinaire rempli d'eau ; la radicelle continue à se développer, et le Haricot ne tarde pas à produire une tige souvent un peu grêle, mais qui porte cependant un nombre suffisant de feuilles quand les dissolutions nutritives sont convenablement choisies.

Pour reconnaître si dans ces conditions les Haricots absorberaient de la soude, j'ai disposé les expériences de la façon suivante :

Un Haricot était enraciné dans un flacon renfermant 100 centimètres cubes; on déterminait, à l'aide des liqueurs titrées, la quantité de sel marin contenue dans la dissolution (2), puis après quelques jours, quand les Haricots avaient évaporé une partie du liquide, on mesurait la quantité qui restait et l'on procédait à un nouveau dosage : en calculant la quantité de sel contenue dans la totalité du liquide, on pouvait voir si une petite quantité de sel marin avait disparu.

Je laisserai de côté un grand nombre d'expériences qui m'ont servi à trouver les conditions d'absorption du chlorure de sodium, pour ne mettre sous les yeux du lecteur que les expériences décisives exécutées pour vérifier les conclusions auxquelles j'étais arrivé.

Expérience n° 1. — Au mois d'octobre 1876, les expériences

(1) L'influence de la température est considérable : autant il est facile de faire germer les Haricots au printemps et en automne, autant il est difficile de réussir pendant les chaleurs de l'été ; les Haricots pourrissent presque tous.

(2) Pour apprécier de petites quantités de sel marin, on prend 10 centim. cubes du liquide à essayer, on y ajoute quelques gouttes de chromate neutre de potasse, puis on y fait tomber goutte à goutte une dissolution très-étendue de nitrate d'argent bien neutre placé dans une burette graduée : tant qu'il y a du chlore à précipiter, le nitrate d'argent ne réagit pas sur le chromate et la liqueur conserve une teinte jaune ; mais aussitôt que tout le chlore est précipité, il se forme du chromate d'argent qui présente une teinte rouge bien prononcée. Ce changement de teinte indique le moment où l'opération est terminée ; on lit alors le nombre de divisions employées.

ont été disposées simultanément sur trois Haricots dont les racines plongeaient dans du chlorure de sodium, et sur trois autres plongeant dans du chlorure de potassium.

On a répété les dosages à diverses reprises; on a constaté que, dans les premiers jours, les Haricots prennent une petite quantité de sel marin, puis que la quantité prise diminue jusqu'à devenir nulle, et l'on a cru voir, à deux ou trois reprises différentes, qu'à la fin de l'expérience la concentration de la liqueur avait augmenté plus que ne le comportait l'évaporation constatée, comme si la plante avait laissé échapper une petite quantité du chlorure absorbé d'abord.

Quand on mit fin aux expériences, qui avaient duré du 28 octobre au 20 novembre, on obtint les résultats suivants :

	Eau évaporée.	Chlorure pris par le Haricot.
CHLORURE DE POTASSIUM.		
	cc.	gr.
N° 1.....	76	0,025
N° 2.....	54	0,016
N° 3.....	64	0,026
CHLORURE DE SODIUM.		
N° 4.....	58	0,014
N° 5.....	32	0,005
N° 6.....	80	0,020

Expérience n° 2. — Nous citerons encore une autre expérience qui a été exécutée du 27 juin au 6 juillet 1876, et dans laquelle six Haricots ont été placés ensemble dans une dissolution de sel marin.

Les 400 centim. cubes de la liqueur renfermaient au commencement de l'expérience 0^{gr},955 de sel marin.

Le 29 juin, la liqueur est réduite par l'évaporation à 338 centim. cubes, qui ne renferment plus que 0^{gr},904 de sel marin.

Du 29 juin au 6 juillet, les plantes commencent à souffrir, sur deux d'entre elles les feuilles du bas sont flétries; le 6 juillet, la liqueur est réduite à 310 centim. cubes, qui renferment 0^{gr},915 de sel marin.

Ainsi, les Haricots ont pris une certaine quantité du sel marin qui était en dissolution.

Ils ont pris infiniment plus d'eau que de sel. En effet, si le sel eût été pris comme l'eau, on n'aurait dû trouver à la fin de l'expérience que $0^{gr},740$ de sel marin dans les 310 centimètres cubes restants, tandis qu'il en reste $0^{gr},915$; c'est-à-dire que le liquide, en se concentrant de 400 à 310 centimètres cubes, n'a perdu que la différence entre $0^{gr},955$ et $0^{gr},915$, c'est-à-dire $0^{gr},040$ de sel marin.

Cette observation est tout à fait d'accord avec celles qu'a faites autrefois Th. de Saussure; on se rappelle qu'ayant employé des dissolutions assez concentrées, il a trouvé dans tous ses essais que les plantes en expérience avaient pris beaucoup plus d'eau que de matière dissoute.

Mais il est un point sur lequel il convient d'insister. Le 29 juin, l'analyse donne pour le sel contenu dans la dissolution $0^{gr},904$ de sel marin, et le 6 juillet $0^{gr},915$; c'est-à-dire qu'on en a trouvé plus dans le second essai que dans le premier, comme si les plantes avaient abandonné une partie du sel qu'elles avaient d'abord absorbé, comme s'il y avait eu un véritable phénomène d'excrétion.

Si cette observation était la seule qui nous montrât ce phénomène, nous n'oserions pas y insister, nous croirions à une petite irrégularité d'analyse grossie par le calcul; mais nous avons eu occasion d'observer plusieurs fois des faits analogues, soit pour le chlorure de sodium, soit pour le chlorure de potassium.

Pourrait-on tirer de ces expériences une opinion favorable à l'idée souvent émise d'une sécrétion régulière par les racines? Nous ne le pensons pas; en effet, nous avons indiqué qu'au moment où l'expérience précédente a été terminée, deux des Haricots étaient malades, les feuilles commençaient à se flétrir, à se dessécher : de là peut-être un reflux vers le liquide des matières dissoutes.

Enfin, nous rapporterons encore une dernière expérience comparative entre des Haricots plongés dans des dissolutions

étendues de chlorure de potassium ou de chlorure de sodium; en moyenne, les premiers n'ont vécu que dix-neuf jours, tandis que les seconds ont persisté pendant trente-sept jours.

L'un des Haricots enracinés dans la dissolution de chlorure de potassium a évaporé 113 centim. cubes et a consommé $0^{gr},054$ de chlorure; l'autre a évaporé 129 centim. cubes et a consommé $0^{gr},038$ de chlorure. Un de ceux qui ont vécu le plus longtemps dans le sel marin a évaporé 166 centim. cubes et a consommé $0^{gr},040$ de sel marin.

Il est donc bien évident, d'après les essais précédents, que le chlorure de sodium peut pénétrer dans les Haricots; toutefois, comme cette conclusion repose sur un dosage de chlore, une objection se présente naturellement à l'esprit : on se demande si le chlorure de sodium était absolument pur et si l'on pouvait être certain que le chlorure manquant dans la dissolution ne fût pas du chlorure de potassium.

Nous avons vu plus haut que le chlorure avait été étudié à ce point de vue et que la quantité de chlorure de potassium était très-faible ; c'est à peine si, au milieu de la masse d'aiguilles dorées de chloroplatinate de sodium obtenues par l'évaporation, on pouvait distinguer un ou deux octaèdres de chloroplatinate de potassium.

Les quantités de chlore disparu des dissolutions sont trop fortes, au reste, pour être attribuées à ces faibles proportions de chlorure de potassium disséminées dans le sel marin; mais on pourrait objecter encore que le chlorure pris est du chlorure de calcium dont la base aurait été arrachée au verre dans lequel séjournait la dissolution. Pour lever tous les doutes, nous avons voulu rechercher directement le sel marin dans les cendres des plantes qui avaient vécu dans les dissolutions de chlorure de sodium.

La tige et les racines ont été calcinées séparément; les cendres des tiges traitées par l'eau, débarrassées par la baryte de la magnésie et de la chaux, puis de la baryte par du carbonate d'ammoniaque, ont été évaporées à sec, traitées par l'acide chlorhydrique et le chlorure de platine, enfin évaporées sur un

verre de montre, et l'on y a reconnu sans difficulté le chloroplatinate de sodium.

Les réactifs employés, soumis au même traitement, n'ont pas fourni de soude.

Ainsi les Haricots qui se sont développés dans de l'eau chargée de sel en prennent de petites quantités qui paraissent même n'avoir sur eux qu'une influence peu fâcheuse.

Expérience n° 3. — Pendant l'hiver de 1877-78, on a entrepris une nouvelle série de culture de haricots dans l'eau additionnée de divers chlorures; les dissolutions ont pu renfermer jusqu'à 3 grammes par litre de matières salines sans que les plantes en aient souffert.

Quelques Haricots ont été placés dans des dissolutions de sel marin pur; après six semaines de végétation dans les serres du Muséum, les plantes étant en très-bon état (1), on a procédé à la calcination et à la recherche du chlorure de sodium dans les cendres : on a obtenu, sans difficultés, les belles aiguilles de chloroplatinate de sodium.

Mais il n'en a plus été ainsi dans les cendres des Haricots qui ont végété dans des dissolutions renfermant à la fois du chlorure de sodium et du chlorure de potassium. Dans celles des plantes qui avaient leurs racines plongées dans des dissolutions de chlorure de calcium et de chlorure de sodium, il a été impossible de voir le chloroplatinate de sodium dans les cendres. Ainsi, s'il est facile de constater la présence du sodium quand ce sel est présenté seul aux racines, son assimilation ne se produit plus aussi aisément quand il est mêlé à d'autres matières.

Pendant le printemps de 1878 on a procédé à une nouvelle série d'essais.

Expérience n° 4. — Des Haricots en très-bon état ont été enracinés dans de l'eau contenant par litre 1 gramme de sel

(1) On remettait de l'eau dans les vases à mesure qu'elle disparaissait par évaporation, de façon à ne pas laisser les dissolutions acquérir une trop grande concentration.

marin, 1 gramme d'azotate de potasse, 1 gramme d'azotate de chaux. Après cinq jours on brûle un Haricot; les cendres sont traitées comme il a été dit plus haut, on ne peut constater la présence du chloroplatinate de sodium; cependant la coloration de la flamme en jaune annonce qu'il est entré de très-faibles quantités de sel marin, insuffisantes pour donner des cristaux reconnaissables même au microscope.

Expérience n° 5. — Des Haricots également très-vigoureux sont enracinés dans une dissolution renfermant par litre 4 grammes de chlorure de sodium, 1 gramme d'azotate de chaux, 1 gramme d'azotate de potasse; ils supportent très-bien cette dissolution. Après quelques jours ils sont brûlés, on aperçoit distinctement les aiguilles de chloroplatinate de sodium, mais elles n'y sont qu'en faible quantité.

Expérience n° 6. — Cette expérience était de nature à faire voir que la présence de plusieurs sels n'était pas un obstacle absolu à l'assimilation du sel marin par les Haricots, et que, bien qu'il soit moins facile de constater sa présence dans les cendres quand la dissolution est complexe que lorsqu'elle ne renferme que du sodium, il suffit cependant que ce sel soit en quantité suffisante dans la dissolution pour qu'il soit absorbé.

Pour bien s'assurer qu'il en était ainsi, on a soumis huit Haricots à l'action des dissolutions suivantes : deux reçoivent 10 grammes de sel par litre dans l'eau distillée; deux reçoivent 5 grammes de sel marin par litre dans l'eau distillée; deux reçoivent 10 grammes de sel par litre, dissous dans l'eau ordinaire, et deux enfin sont enracinés dans une dissolution à 5 grammes par litre dans l'eau ordinaire, chargée par conséquent d'une certaine quantité de chaux.

Les quatre Haricots placés dans l'eau distillée salée sont morts en quarante-huit heures; on a trouvé le sel dans leurs cendres. Les Haricots placés dans l'eau ordinaire ont résisté quelques heures de plus; ils sont morts cependant, et l'on a encore trouvé du sel dans leurs cendres.

Expérience n° 7. — L'expérience 6 prouve donc que la présence d'une matière dissoute autre que le sel marin n'oppose pas un obstacle absolu à l'absorption de ce sel, mais la différence d'action des dissolutions complexes et des liquides ne renfermant que du sel marin montre bien que celui-ci est assimilé plus facilement quand il est isolé. Pour le démontrer encore plus complétement, on a placé deux Haricots dans une dissolution renfermant 4 grammes par litre de sel marin, c'est-à-dire précisément la même quantité que celles qu'ont reçue les plantes de l'expérience 4. Or, tandis que les Haricots enracinés dans l'eau qui renfermait 4 grammes de sel marin, 1 gramme de salpêtre et 1 gramme d'azotate de chaux, vivent encore après vingt jours de ce régime, les Haricots placés dans la dissolution où se trouvaient les 4 grammes de sel marin sans aucun mélange sont morts après cinq jours. Ainsi une dissolution de sel marin pur à 4 millièmes est rapidement mortelle, tandis que cette même dissolution additionnée d'autres sels qui sont pris de préférence par la plante est loin d'être aussi toxique.

De tous les essais précédents on doit conclure que, bien que le Haricot soit une des plantes, dont les cendres ne renferment pas habituellement de soude, il est possible de la faire pénétrer : la condition est de la mettre seule dans l'eau où plongent les racines, ou, si cette eau est chargée de plusieurs sels, d'introduire dans la dissolution le sel marin en quantité notable, de façon qu'elle renferme de 1 gramme à 0^{gr},5 de sel par 100 centim. cubes.

Ces expériences ayant toujours eu lieu à l'aide des plantes enracinées dans l'eau, on pourrait peut-être supposer qu'elles présentent quelque chose de particulier, et qu'on n'aurait pas eu de résultats semblables si l'on avait opéré sur des plantes vivant dans la terre, dans des conditions plus normales. Elles devaient donc être complétées par de nouveaux essais.

III

Expériences exécutées sur des Haricots enracinés dans le sable ou dans la terre.

Expérience n° 8. — Le 1er juillet 1878, on verse dans des pots à fleur renfermant du sable, dans lequel se sont développés des Haricots qui atteignent environ 60 centimètres, une dissolution de 10 grammes de sel marin dans 100 centim. cubes.

Le lendemain les Haricots sont évidemment malades. On en prélève un pied dans chaque pot, on le brûle, et l'on recherche la soude dans les cendres après le traitement décrit plus haut. Le chloroplatinate de sodium se montre dans les deux cas avec la plus grande netteté.

Ainsi les Haricots prennent du chlorure de sodium, qu'ils soient enracinés dans l'eau ou que leurs racines s'enfoncent dans la terre, et il n'est même pas difficile de concevoir comment on a obtenu souvent d'autres résultats.

Expérience n° 9. — En même temps qu'on versait la dissolution de sel marin dans les deux pots à fleur, où elle exerçait sur les Haricots une action si funeste, on faisait couler 200 centim. cubes de la même dissolution de sel marin sur un pied de Haricot placé en pleine terre dans une des plates-bandes du jardin. Le lendemain deux feuilles du bas paraissent un peu jaunes; on les enlève, on y recherche la soude, mais sans succès. Le Haricot n'est, au reste, nullement atteint par la quantité considérable de sel qu'on a versée au pied; il continue à se développer normalement comme ses voisins; on l'examine tous les jours, il ne présente aucune apparence de maladie.

Ainsi la dose de sel marin qui a été mortelle pour les Haricots placés dans les pots n'a exercé aucune action fâcheuse sur l'individu vivant en pleine terre, et il est facile de concevoir que dans le premier cas la dose de sel, maintenue dans une quantité de terre limitée, s'est trouvée suffisante pour que la plante fût forcée d'en absorber une certaine quantité, tandis

qu'en pleine terre les 20 grammes contenus dans la dissolution, dilués au milieu d'un cube de terre considérable, ne se sont plus trouvés en proportion assez forte pour pénétrer dans la plante, ou au moins la soude n'est pas entrée en quantité suffisante pour être caractérisée par le mode de recherche employé.

On trouve dans cette expérience l'explication du fait constaté en 1868 à l'École de Grignon. On se rappelle que des Pommes de terre placées en pleine terre ont été arrosées avec différents sels de soude, et qu'à l'analyse on n'a pu constater dans leurs cendres la présence de cette base; tandis qu'au contraire une Pomme de terre placée dans un pot de fleur et arrosée avec des sels de soude s'est chargée d'une quantité de cette base suffisante pour qu'on pût obtenir les cristaux de chloroplatinate de sodium.

Nous concevons encore comment le Haricot tué en 1874 par les arrosages au sel marin plusieurs fois répétés ne renfermait pas de soude; il s'est certainement formé dans le sol par double échange des chlorures de potassium et de calcium dont l'action a fini par être délétère, mais jamais le sel marin ne s'est trouvé dans le sol en quantité suffisante pour pénétrer dans la plante.

IV

Faibles quantités de sel marin contenues dans la terre arable. — Explication de l'absence de soude dans les végétaux terrestres.

En nous appuyant sur les expériences précédentes, il va nous être facile de concevoir comment les plantes terrestres ne renferment pas habituellement une proportion de soude suffisante pour qu'on puisse la reconnaître par les méthodes que nous avons employées, M. Peligot et moi : méthodes qui sont excellentes pour reconnaître la soude quand elle est en quantité sensible, mais qui ne sont pas assez délicates pour en déceler des proportions extrêmement faibles.

Nous avons vu que si l'on reconnait très-bien le sel marin dans un Haricot qui est enraciné dans de l'eau distillée renfer-

mant 1 pour 1000 de ce sel, on ne le retrouve pas dans les cendres d'un Haricot qui renferme cette dose de sel, quand celui-ci est mélangé avec plusieurs autres matières solubles telles que les sels de potasse ou de chaux.

Or le sel marin ne se rencontre pas habituellement dans le sol en proportion telle qu'il y atteigne même cette dose de 1 pour 1000 qui, nous venons de le reconnaître, est déjà insuffisante.

M. Schlœsing a donné, il y a déjà plusieurs années, la composition de l'eau contenue dans la terre arable; il a notamment dosé la soude, et la quantité la plus forte qu'il ait trouvée est de 0gr,0425 par litre. Si nous calculons la quantité de sel marin correspondante, nous trouvons qu'elle est seulement de 0gr,0769 par litre; or nous venons de voir que 1 gramme par litre dans une dissolution complexe est une quantité insuffisante pour que la plante s'en empare.

Il n'est donc pas extraordinaire qu'on ne trouve pas de soude dans les végétaux qui se développent dans des sols semblables à ceux que M. Schlœsing a étudiés, et nous rappellerons de nouveau que nous avons pris, parmi les analyses données par ce chimiste distingué, le nombre le plus fort. Puisque la proportion de cette base contenue dans l'eau qui abreuve leurs racines est très-faible, on conçoit qu'elle ne soit pas absorbée; mais en serait-il encore de même quand on emploie comme engrais les sels de soude et notamment l'azotate, dont les agriculteurs font aujourd'hui un si fréquent usage?

Il est bien facile de voir que, dans ce cas encore, ce sel n'existe dans le sol qu'en proportions extrêmement restreintes: on sait en effet que les azotates ne sont pas retenus par la terre arable comme les sels ammoniacaux; on les rencontre dans toutes les eaux de drainage qui s'écoulent des sols bien fumés.

Nous pouvons donc admettre que ce sel jeté à la surface du champ se répartit bientôt dans toute la couche arable. Donnons à celle-ci une épaisseur de 0m,50, nous aurons par hectare 5000 mèt. cubes qui pèseront 5500 tonnes (la terre du champ d'expériences de Grignon pèse 1100 grammes par litre); sup-

posons que cette terre soit à son maximum de sécheresse, qu'elle ne renferme que 10 pour 100 d'eau, nous aurons donc 550 tonnes d'eau par hectare, dans lesquelles vont se diffuser les 400 ou 500 kilos donnés comme fumure. On voit qu'on aura au maximum $\frac{500}{550} = 0^{kil},9$ d'azotate de soude par mètre cube, c'est-à-dire encore une quantité plus faible que celle qui est nécessaire pour pénétrer dans une plante qui ne recherche pas cette base, quand l'eau est chargée de plusieurs sels différents.

Il faut bien remarquer, en outre, que pour arriver à ce chiffre de $0^{kil},9$ par mètre cube, nous avons admis que la terre renfermait une quantité d'eau très-faible, et de plus que tout le sel donné comme engrais passait dans l'eau qui séjourne dans la terre arable; mais en réalité il n'en est pas ainsi, il se fait toujours un partage entre l'eau et la terre, et par suite la proportion de soude que renferme l'eau se trouve encore diminuée.

C'est ce dont on se convaincra aisément en jetant une dissolution de sel marin présentant une certaine concentration sur une terre arable. En employant, par exemple, une dissolution de sel marin à 20 grammes par litre sur des terres de diverses provenances, nous avons toujours reconnu que la dissolution filtrée au travers du sol se trouvait appauvrie : on conçoit donc que le sel n'existe habituellement dans la terre que dans des proportions telles qu'il ne puisse pas pénétrer dans la plante; mais s'il s'y rencontre en quantité plus considérable, la culture devient impossible, soit parce que le sel marin lui-même pénètre dans les plantes et les fait périr, soit parce qu'il provoque la formation d'autres chlorures assimilables qui peuvent exercer à leur tour une influence funeste.

Quand on jette sur la terre arable une dissolution de sel marin et qu'on examine la composition de la liqueur qui l'a traversée, on trouve qu'elle s'est appauvrie en sel marin, mais qu'elle s'est enrichie au contraire en chaux et en acide sulfurique. Le chlorure de sodium a réagi sur le plâtre que renferment les terres des environs de Paris; il s'est produit du chlo-

rure de calcium en même temps que du sulfate de soude : cas particulier de cette règle générale, que deux sels mis en contact échangent toujours leurs bases et leurs acides dans des proportions qui varient avec les propriétés physiques des matières réagissantes.

Or les plantes ne supportent pas plus le chlorure de calcium en dissolution un peu concentrée que le sel marin, et l'on conçoit que le sel marin versé sur une terre arable puisse amener la mort des plantes qui s'y développaient, sans que cependant on trouve de la soude dans leurs tissus.

C'est là ce que nous avons observé dans une des expériences citées plus haut.

Nous pouvons donc conclure de cette première série d'essais que si la soude ne se rencontre pas habituellement dans les cendres des végétaux, c'est simplement parce que la terre arable n'en renferme d'ordinaire que de très-faibles quantités.

V

Sur l'influence des matières salines, et particulièrement du sel marin, sur la végétation des Haricots.

Nous avons vu dans le récit des expériences précédentes que le sel marin employé seul pénétrait dans les Haricots beaucoup plus facilement que lorsqu'il était présenté à leurs racines dans une dissolution complexe. A quelle cause faut-il attribuer cette action particulière ?

Pour la reconnaître, je rappellerai d'abord des expériences qui paraissent au premier examen un peu en dehors du sujet que nous traitons, mais qui nous ont conduit cependant à la solution de la question que nous voulions résoudre.

Nous avons inséré dans les *Annales agronomiques*, tome Ier, page 470, la traduction d'un mémoire de M. Bœhm, relatif à l'influence des sels de chaux sur la végétation; nous avons répété à diverses reprises, au laboratoire de culture, les expériences de l'éminent physiologiste de Vienne, et nous résumerons ici les résultats auxquels nous ont conduit ces nouveaux essais.

Quand une graine germe, les matériaux contenus dans les cotylédons se métamorphosent, se dissolvent, émigrent jusqu'au point où l'activité vitale les utilise à la formation de nouveaux organes, et, si la graine est volumineuse, la plante peut vivre plusieurs semaines aux dépens des principes immédiats accumulés dans son albumen.

M. Bœhm a observé ce fait très-curieux, que si les cotylédons du Haricot se vident très-bien quand la germination a lieu dans l'eau ordinaire, il n'en est plus ainsi dans l'eau distillée ; les cotylédons restent gonflés, turgescents, et la plante petite et chétive qui en sort, périt assez rapidement.

De la germination des Haricots dans l'eau distillée. — Nous avons répété cette curieuse expérience de M. Bœhm, et nous transcrivons ci-joint les observations consignées sur notre registre de laboratoire, qui concordent avec les résultats annoncés par M. Bœhm, bien que nous n'ayons pas opéré comme lui sur des plantes étiolées.

Le 24 avril, on place dans des flacons renfermant de l'eau distillée des Haricots germés ; ils sont en très-bon état ; les radicelles, bien développées, passent facilement au travers des bouchons percés qui supportent la graine. Les flacons sont disposés sous une bâche dans le jardin du laboratoire.

Observation du 17 *mai* (*A*). — Feuilles primordiales et monophylles flétries ; axe hypocotylé renflé, charnu ; deux petits rameaux à l'aisselle, partie supérieure de l'axe flétrie ; cotylédons charnus verts, gonflés, non ridés.

B. — Pas de feuilles primordiales ; axe hypocotylé desséché au sommet, très-renflé à la base ; deux petits rameaux à l'aisselle de l'axe ; cotylédons pleins commençant à brunir.

C, *D*, *E*, *F*. — Mêmes observations.

16 *juin*. —Sur vingt autres Haricots disposés dans l'eau distillée avec les précédents, dix sont morts, dix sont encore vivants. En général les cotylédons sont pourris, les plantes sont très-petites, rabougries ; les racines sont très-irrégulières, parfois abondantes et très-longues, parfois au contraire plus fortes, mais courtes.

C a conservé ses cotylédons; la tige principale est flétrie; un des bourgeons développés à l'aisselle de la tige se développe légèrement.

8 *juillet.* — Sur les vingt-six Haricots mis en expérience dans l'eau distillée, sept sont encore vivants. *C* a encore ses cotylédons, sa tige est très-courte.

Toutes les plantes encore vivantes sont remarquables par l'excessive longueur des racines, qui atteignent de 60 à 80 centimètres de long, elles remplissent les flacons; les tiges sont très-courtes et l'axe hypocotylé très-renflé, très-charnu.

On met fin à l'expérience.

Voici, d'autre part, une autre série d'observations parallèles à la précédente, mais dans laquelle les racines des Haricots plongent dans l'eau ordinaire.

De la végétation des Haricots dans l'eau ordinaire. — Les Haricots avaient été disposés dans l'eau ordinaire le 24 avril; voici les observations du 17 mai.

A'. — Très-bon état, cotylédons disparus, chevelu très-abondant, feuilles primordiales très-développées; les feuilles trifoliolées commencent à paraître.

B'. — Très-allongé, cotylédons flétris, beaucoup de chevelu, belles feuilles primordiales.

C', *D'*, *E'*, *F'* présentent des caractères analogues : toujours les cotylédons sont flétris, ridés; la plante est très-allongée, mais elle a évidemment épuisé la réserve contenue dans les cotylédons; il n'y a nulle trace de ce renflement de l'axe si remarquable dans les plantes précédentes.

16 *juin.* — *D'* s'est beaucoup allongé; il pèse 17 grammes; il a encore ses feuilles primordiales.

G'. — Très-allongé; une des feuilles primordiales commence à se flétrir.

F'. — 13 grammes; plus de feuilles primordiales, beaucoup de feuilles triphylles.

Ainsi nous sommes complétement d'accord avec M. Bœhm sur ce premier point : dans l'eau distillée, les Haricots ne peuvent pas utiliser la réserve contenue dans les cotylédons;

ceux-ci persistent; la plante vit, elle forme de nouveaux organes pour remplacer ceux qui périssent, mais il lui est impossible de s'allonger, et après quelque temps elle finit par périr.

Ajoutons que les faits précédents ne nous paraissent pas particuliers aux Haricots, les Lentilles ont fourni des résultats analogues : celles qui vivaient les racines plongées dans l'eau distillée ont été très en retard sur celles qui trouvaient des sels dans l'eau d'alimentation.

Végétation des Haricots dans diverses dissolutions. — M. Bœhm a conclu de ses expériences que la chaux était nécessaire au transport des aliments contenus dans les cotylédons jusqu'aux organes en formation, et il explique l'effet avantageux qu'exerce l'eau de fontaine sur l'utilisation des principes immédiats contenus dans les cotylédons par la présence de la chaux qu'elle renferme.

Il ne semble pas douteux, d'après les observations de M. Bœhm, et d'après celle que nous venons de rapporter, que les Haricots peuvent vider leurs cotylédons quand leurs racines plongent dans une eau calcaire; mais n'en serait-il pas de même si, au lieu de sels de chaux, les racines trouvaient dans l'eau d'autres matières en dissolution ? C'est pour nous en assurer que nous avons disposé les expériences suivantes :

Le 8 juillet, on dispose deux Haricots (1 et 2) dans une dissolution à 1 gramme par litre d'azotate de soude.

Deux autres (3 et 4) dans une dissolution à 1 gramme par litre d'acétate de soude.

Deux autres (5 et 6) dans une dissolution à 1 gramme par litre de chlorure de sodium.

Deux autres (7 et 8) dans une dissolution d'oxalate de potasse.

Deux autres (9 et 10) dans une dissolution de chlorure de strontium.

Deux autres (11 et 12) dans une dissolution d'azotate de strontiane.

Les flacons ont été placés dans le jardin, sous une bâche

ntr'ouverte et protégés contre les rayons de soleil par des toiles.

Les sels de soude ont été employés parce qu'on savait, d'après les expériences de M. Peligot, qu'ils ne sont pas des aliments pour les Haricots; ils convenaient donc particulièrement pour décider la question en litige, à savoir : La chaux est-elle nécessaire parce que les jeunes organes ne peuvent se constituer sans elle, ou bien un sel quelconque suffit-il pour favoriser le mouvement de diffusion qui entraîne les principes immédiats contenus dans les cotylédons?

On a placé 7 et 8 dans une dissolution d'oxalate de potasse pour se mettre à l'abri d'une objection qui aurait pu se présenter à l'esprit : on aurait pu croire que les sels précédents n'ont eu aucune action, et que si les Haricots ont vécu dans ces dissolutions mieux que dans l'eau distillée, c'est tout simplement parce qu'ils ont arraché au verre des flacons la petite quantité de chaux nécessaire à la migration de la réserve de l'albumen. Cette objection ne peut évidemment porter sur les expériences 7 et 8, puisque dans le cas où un peu de chaux se trouverait en dissolution dans l'eau, elle serait précipitée par l'oxalate employé.

Enfin, on a fait deux expériences à l'aide des sels de strontiane, pour vérifier une observation précédente, d'où l'on avait conclu que la strontiane semblait pouvoir pénétrer dans les Haricots. On avait ajouté en effet une dissolution très-faible d'un sel de strontiane à une plante maladive développée dans l'eau distillée, et l'on avait reconnu qu'elle avait vécu et avait même paru se développer mieux que dans l'eau distillée; on a voulu vérifier cette première observation par celles qui ont porté sur les Haricots 9, 10, 11 et 12.

Haricots 1 *et* 2 (*azotate de soude*). — 13 *juillet*. — 1 a sa tige principale flétrie, des bourgeons repartent des aisselles des cotylédons.

2 est très-vigoureux.

24 *juillet*. — 1 : un des bourgeons de l'aisselle se développe, l'autre est flétri ; bonnes racines.

2 très-vigoureux, *cotylédons vidés*. Il a 30 centimètres de long, il pèse 9 grammes.

8 *août*. — 1 : cotylédon vidé, le rameau très-développé; il pèse 6 grammes.

2 très-allongé, feuilles primordiales flétries; il ne pèse plus que 7 grammes.

9 *août*. — 1 et 2, desséchés à l'étuve, pèsent ensemble 1gr,620.

Un Haricot sec pesant en moyenne de 0gr,9 à 1gr, on voit qu'il n'y a pas eu d'assimilation, ou au moins que l'assimilation n'a pas été suffisante pour que le poids de la plante dépassât la semence; mais le point important est que la réserve des cotylédons ait été employée.

Haricots 3 *et* 4 (*acétate de soude*). — 13 *juillet*. — 3 mort; 4 en très-mauvais état.

8 *août*. — 4 très-faible, tige primordiale flétrie, cotylédons moisis ; il pèse à l'état normal 3 grammes.

Haricots 5 *et* 6 (*sel marin*). — 13 *juillet*. — 5 grand, feuilles recroquevillées.

6 petit, feuilles recroquevillées.

24 *juillet*. — 5 très-bon, feuilles primordiales ratatinées, mais les autres en bon état; *a complétement vidé ses cotylédons*.

6 très-bon; n'a pas encore complétement vidé ses cotylédons.

8 *août*. — 5 : une feuille primordiale tombée; il pèse 6 grammes à l'état normal, l'autre (6), 4 grammes. Secs, ils pèsent ensemble 1gr,350.

Expériences 7 *et* 8 (*oxalate de potasse*). — 13 *juillet*. — 7 très-malade, chétif.

8 très-bon, feuilles plus larges que celles de 2.

24 *juillet*. — 7 mourant, cotylédons non vidés.

8 : très-bonne tige, bien garnie de feuilles; *cotylédons épuisés*, une feuille primordiale flétrie.

8 *août*. — 7 : feuilles flétries, cotylédons moisis; 3 grammes.

8 : feuilles flétries, malade; poids, 4gr,5. Secs, ils pèsent ensemble 0gr,850.

Expériences 9 *et* 10 (*chlorure de strontium*). — 13 *juillet*. — 9 est très-bon, aussi bon que 2; 10 est plus petit, mais assez vigoureux.

24 *juillet*. — 9 : deux très-bonnes feuilles; la tige commence à se garnir, un cotylédon vidé.

10 petit, bourgeon terminal très-court; un cotylédon pourri, l'autre commence à se pourrir.

8 *août*. — 9 : un cotylédon vidé; tige primordiale bien développée, ainsi que deux feuilles primordiales, mais il a fait peu de progrès depuis la dernière observation; il pèse 6 grammes.

10 très-allongé; il pèse 2 grammes.

Ensemble ces deux Haricots, après dessiccation, pèsent $1^{gr},200$.

Expériences 11 *et* 12 (*azotate de strontiane*). — 13 *juillet*. — 11 bien vivant, très-grand.

12 petit, feuilles recroquevillées.

24 *juillet*. — 11 : *cotylédons vidés*, feuilles primordiales ratatinées; assez grand, sept feuilles bien développées.

12 très-petit, cotylédons pourris, racines très-mauvaises; deux feuilles primordiales en assez bon état.

8 *août*. — 11 très-bon, *cotylédons complétement vidés*, feuilles en bon état; il pèse 8 grammes.

12 très-faible, très-petites racines, feuilles primordiales flétries; il pèse 1 gramme.

Après dessiccation, 11 pèse $1^{gr},100$, 12 pèse $0^{gr},180$.

Nous rappellerons, avant d'aller plus loin, que les Haricots s'accommodent très-mal de l'alimentation à l'aide de dissolutions salines; un grand nombre d'expériences exécutées au laboratoire de culture avec les produits qui nous paraissaient devoir réussir davantage n'ont conduit qu'à des résultats très-médiocres : les plantes ont vécu, quelques-unes ont fleuri, mais aucune n'a donné de graines.

Une expérience faite parallèlement avec les précédentes, et dans laquelle on avait placé dans l'eau *ordinaire* de l'azotate de potasse, du chlorure de potassium et du phosphate de chaux, a fourni une plante de 17 grammes, qui, après dessic-

cation, a pesé $1^{gr},04$, c'est-à-dire à peu près le poids de la graine primitive.

Quoi qu'il en soit, il semble que si les sels de chaux favorisent la migration des principes immédiats contenus dans les cotylédons, des dissolutions renfermant des sels de soude ou même de strontiane peuvent exercer une action semblable.

On a vu qu'un des Haricots qui avaient ses racines dans l'azotate de strontiane s'est bien développé ; il en a été de même pour celui qui vivait dans le chlorure de strontium. La strontiane peut-elle donc pénétrer dans les végétaux?

Pour la reconnaître, nous avons brûlé les plantes qui avaient vécu dans ces dissolutions, en ayant soin de séparer d'abord les racines qui auraient pu renfermer de la strontiane interposée mécaniquement ; on a traité les cendres par quelques gouttes d'acide chlorhydrique, on les a examinées au spectroscope, et l'on a reconnu sans hésitation les raies caractéristiques du strontium.

Quant aux sels de soude, leur action mérite une attention spéciale.

Avant de la discuter, nous résumerons par les conclusions suivantes les expériences décrites dans ce paragraphe.

1° Ainsi que l'a vu M. Bœhm, les Haricots ne vident pas leurs cotylédons dans l'eau distillée.

2° Ils se développent facilement, au contraire, dans l'eau ordinaire renfermant de la chaux, et cette seconde conclusion est d'accord également avec les observations de M. Bœhm.

3° Mais les Haricots vident leurs cotylédons dans de l'eau distillée tenant en dissolution des sels de soude ou de strontiane, ce qui montre que la chaux n'est pas indispensable pour déterminer la migration des principes immédiats contenus dans les cotylédons.

J'insisterai sur un dernier fait qui est d'une grande importance pour élucider la question traitée : j'ai remarqué un grand nombre de fois, pendant la durée du dernier été, que la présence du sel marin dans l'eau qui baignait les racines avait une influence très-marquée sur l'utilisation des matériaux accu-

mulés dans les cotylédons; tandis qu'un Haricot enraciné dans l'eau distillée conserve ses cotylédons gonflés et turgescents pendant fort longtemps; il suffit d'enraciner la plante pendant quelques jours dans l'eau renfermant de petites quantités de sel marin pour que les cotylédons se vident complétement.

Il semble, au reste, ainsi qu'il a été dit, qu'un sel quelconque exerce une action analogue à celle du sel marin. Cette action qu'exerce la présence d'un sel sur la migration des principes immédiats contenus dans les cotylédons du Haricot est très-curieuse; elle exige, pour être élucidée, de nouvelles études que nous comptons entreprendre l'hiver prochain. En ce moment, il nous est impossible de risquer la moindre hypothèse sur la cause qui empêche la migration des principes immédiats quand les Haricots ne reçoivent que de l'eau distillée.

VI

Sur les quantités de chlore qui peuvent se rencontrer dans les cendres du Haricot.

Les analyses résumées dans le paragraphe précédent nous conduisent donc à admettre que la composition des cendres d'une plante ne présente pas une fixité absolue, et que, dans une certaine mesure, cette composition est influencée par la nature du milieu dans lequel s'enfoncent les racines.

Nous avons des preuves nombreuses de ces variations; nous rappellerons notamment que M. von Höhnel est arrivé à faire fructifier le *Lithospermum arvense*, qui présente habituellement des fruits couverts de silice, dans des dissolutions d'où la silice avait été complétement bannie.

Nos analyses de cendres de Haricots nous donnent de nouveaux exemples de cette variation; nous avons constaté en effet, pour 100 de cendres, les quantités de chlore suivantes :

Haricot développé dans de l'eau ordinaire, sans aucune addition :

Chlore pour 100 de cendres 0,37

Haricot développé dans de l'eau distillée renfermant 2 grammes par litre de chlorure de potassium :

Chlore pour 100 de cendres 20,4

Haricot développé dans de l'eau distillée renfermant 4 grammes par litre de chlorure de sodium :

Chlore pour 100 de cendres 17,6

Haricot développé dans de l'eau distillée renfermant par litre 4 grammes de chlorure de sodium, 1 gramme d'azotate de chaux, 1 gramme d'azotate de potasse :

Chlore pour 100 de cendres 19,4

Haricot enraciné dans une bonne terre de jardin, mais arrosé avec du chlorure de calcium :

Chlore dans 100 de cendres. 14,3

Haricot en pot, enraciné dans une bonne terre de jardin, mais arrosé avec du sel marin :

Chlore dans 100 de cendres. 11,3

Haricot en pleine terre, bonne terre de jardin, arrosé à l'eau ordinaire :

Chlore dans 100 de cendres.		0,53
Id.	id.	0,49

Ainsi les cendres ne présentent pas une composition constante, et l'on conçoit que, dans une certaine mesure, une matière puisse être remplacée par une autre.

Je n'ai jamais pu voir des Haricots vivre longtemps dans de l'eau distillée qui ne renfermait que du sel marin, ils y ont toujours péri ; ce qui montre bien que le sel marin ne saurait remplacer les sels de chaux ou de potasse à l'aide desquels la plante soutient sa vie pendant plusieurs mois. Mais dans le jeune âge, la plante trouve dans ses cotylédons les aliments nécessaires à son premier développement, à la condition que ces éléments puissent émigrer d'un point de la plante à l'autre, et c'est à favoriser cette migration que le sel marin paraît être employé.

VII

De l'état dans lequel se trouve la soude dans les végétaux.

Les expériences résumées dans les paragraphes précédents font voir que les chlorures, même le chlorure de sodium, peuvent constituer une fraction importante des cendres des plantes; elles font voir de plus qu'en l'absence de tout autre sel, le chlorure de sodium exerce une action favorable sur la végétation. J'ai essayé de tirer de cette dernière observation l'explication de l'absorption facile du sel marin par un Haricot en germination, quand ce sel est présenté seul aux racines de la jeune plante. Dans mon premier mémoire sur l'assimilation des substances minérales par les végétaux, j'ai fait voir que celles-ci pouvaient se rencontrer dans les tissus des plantes à divers états; non-seulement on rencontre des bases engagées dans des combinaisons régulières avec les acides végétaux, mais on trouve encore des sels amenés à l'état insoluble dans les tissus des plantes, par suite de réactions analogues, sans doute, à celle que nous offre l'art du teinturier. Quand nous voyons l'iodure de potassium, sel extrêmement soluble dans l'eau, rester uni aux tissus des *Fucus*, tellement que des lavages multipliés à l'eau bouillante sont insuffisants pour l'enlever, et que c'est seulement quand la plante a été détruite par la calcination qu'on peut l'extraire, nous pouvons affirmer qu'il est engagé dans une combinaison très-stable, analogue à celle que contracte l'alun, par exemple, avec les fibres végétales qui constituent les étoffes qu'il sert à mordancer.

Le sel marin est-il capable de former une combinaison analogue? Aucune des plantes que nous avons étudiées ne nous l'a montré; il suffit, au contraire, de couper une plante qui a végété dans de l'eau chargée de sel marin, puis de faire bouillir les fragments avec de l'eau, pour entraîner tous les chlorures qui y étaient contenus. Mais si l'on peut affirmer qu'une matière est combinée avec les tissus végétaux, quand elle présente une insolubilité qu'elle ne possède pas d'ordinaire, on ne saurait

affirmer, quand cette insolubilité n'existe pas, que la matière minérale n'a contracté aucune adhérence avec la fibre végétale; car si cette combinaison est peu stable, l'action de l'eau peut suffire à la détruire.

J'ai reconnu en effet que les plantes qui prennent habituellement du chlorure de sodium, qui restent très-chétives quand elles en sont privées, et qui prospèrent quand elles en trouvent dans le sol des quantités notables, telles que les *Salsola*, ne retiennent pas ce sel assez énergiquement pour qu'une ébullition prolongée avec l'eau ne les en prive complétement.

En faisant bouillir pendant quelque temps des fragments de *Salsola Soda* avec de l'eau, j'ai enlevé tout le sel qui y était contenu; quand l'eau de lavage ne s'est plus troublée par le nitrate d'argent, j'ai brûlé la plante : il n'y avait pas de chlorure dans les cendres.

Et cependant le sel est nécessaire au développement normal de cette plante; c'est donc une preuve que la facilité qu'on trouve à enlever par l'eau une matière minérale existant dans les tissus d'une plante ne démontre pas que cette matière minérale n'a contracté aucune combinaison avec ces tissus.

Il fallait donc trouver un autre procédé pour reconnaître si le chlorure de sodium donné seul à un Haricot ne formait pas avec ses tissus une combinaison quelconque.

Quand on met une dissolution saline en contact avec les racines d'une plante, trois cas peuvent se présenter :

1° Le sel entre comme l'eau, c'est-à-dire que la concentration du liquide ne change pas.

2° Le sel entre moins vite que l'eau; dans ce cas, la concentration du liquide va en augmentant. Nous avons donné plusieurs exemples de ce dernier cas dans les pages précédentes.

3° Enfin, le sel entre plus vite que l'eau.

Il est clair que si ce dernier cas peut se réaliser, on devra en conclure que le sel forme une combinaison avec les tissus de la plante, puisque la plante l'aura soustrait à l'eau qui l'avait dissous.

Nous avons placé un petit *Salsola* dans 135 centimètres

cubes d'eau renfermant une quantité de chlorure de sodium dosant $0^{gr},0175$ de chlore; après deux jours, la dissolution est réduite à $130^{cc},8$, qui ne renferment plus que $0^{gr},0159$ de chlore; il a donc disparu 0,0175 — 0,0159 de chlore = 0,0016. Mais les $4^{cc},2$ évaporés ne renfermaient que 0,00054 de chlore; si le sel eût été pris comme l'eau, la diminution n'eût été que de $0^{gr},0005$, tandis qu'elle a été de $0^{gr},0016$: le sel a donc cheminé plus vite que l'eau; il y a donc eu combinaison entre les tissus de la plante et le sel.

On a fait une seconde expérience sur le même *Salsola*, mais en prenant une liqueur étendue du double; elle a donné des résultats analogues.

La même expérience réussit enfin sur les Haricots. Le 25 juillet, on place quatre Haricots en bon état, qui n'ont pas fini de vider leurs cotylédons, dans 400 centimètres cubes d'un liquide qui renferme $0^{gr},0255$ de chlore à l'état de chlorure de sodium, (10 centimètres cubes de cette liqueur exigent, pour être précipités, $2^{cc},2$ d'une dissolution d'argent qui précipite par 10 centimètres cubes $0^{gr},0029$ de chlore).

Le 2. août les Haricots sont en bon état; l'axe principal est mort sur trois d'entre eux, mais des rameaux sont repartis de l'aisselle des cotylédons. La liqueur est réduite à 378 centimètres cubes, et il faut seulement $1^{cc},9$ de liqueur d'argent pour précipiter 10 centimètres cubes.

Ainsi, bien que le volume du liquide ait diminué, il faut moins de liqueur d'argent pour faire la précipitation qu'au commencement de l'expérience; par conséquent, non-seulement du chlorure de sodium a pénétré, mais il a pénétré plus vite que l'eau.

On trouve en effet que les 378 centimètres cubes ne renferment plus que $0^{gr},0213$ de chlore au lieu de $0^{gr},0255$; il a donc disparu $0^{gr},0042$ de chlore. Or les 23 centimètres cubes évaporés n'en renfermaient que $0^{gr},0012$; la perte est donc près de quatre fois plus forte que celle qui aurait eu lieu si le chlorure avait été pris comme l'eau, si la liqueur avait pénétré dans le Haricot sans changement de composition. La pénétration du

sel par simple diffusion dans les tissus des Haricots ne peut pas expliquer la perte faite par le liquide; en effet, les quatre Haricots, pesant ensemble environ 25 grammes, renferment environ 20 gram. d'eau. Or la diffusion n'aurait pu y faire pénétrer que

$$\frac{0^{gr},025 \times 20}{400} = 0,0012$$

c'est-à-dire environ $0^{gr},001$ de chlore, tandis que la liqueur en a perdu $0^{gr},004$. Le sel a donc pénétré plus vite que l'eau; il a été soustrait par les tissus, à l'eau qui le tenait en dissolution, et nous allons tirer de cette observation une conséquence importante.

VIII

Mécanisme de l'assimilation des sels de soude par les végétaux.

En arrivant à la fin de ce mémoire, au moment de montrer que les lois de la diffusion suffisent à faire comprendre comment les sels de soude ne se rencontrent pas habituellement dans les végétaux, mais y pénètrent cependant dans quelques conditions spéciales, il faut rappeler les faits établis dans les paragraphes précédents.

1° Quand le sel marin se trouve dans l'eau qui abreuve les racines en proportion notable, il pénètre dans la plante, où il est facile à reconnaître.

2° Quand le sel n'existe dans l'eau qui baigne les racines qu'en faible proportion, mais qu'il est présenté seul à la plante en germination, il pénètre encore en quantité sensible.

3° Quand le sel n'existe dans l'eau qui baigne les racines qu'en faible proportion et que la dissolution est complexe, il ne pénètre plus en quantité suffisante pour que les procédés décrits plus haut permettent de le caractériser.

Les faits précédents étant démontrés, il va être facile de comprendre leur raison d'être.

Rappelons brièvement d'abord les phénomènes de diffusion sur lesquels nous devons nous appuyer :

A. Une matière dissoute dans un liquide peut cheminer dans

ce liquide en dehors de tout mouvement du liquide. (Les expériences dans lesquelles on nourrit un cristal le démontrent aussi bien que les beaux travaux sur la diffusion, de Th. Graham.)

B. Une matière dissoute dans un liquide est en équilibre quand elle se trouve en même quantité dans toutes les parties du liquide.

C. Une cloison poreuse n'oppose aucun obstacle à ces mouvements de la matière dissoute dans le liquide.

Ces prémisses étant posées, voyons ce qui arrivera si l'on place dans un vase poreux de l'eau distillée et dans l'eau extérieure une dissolution de sel marin. Il est clair que le sel marin pénétrera par diffusion au travers de la cloison poreuse, et que bientôt le liquide présentera des deux côtés de la cloison la même concentration, et cela quel que soit le degré de concentration de la dissolution extérieure. Si cette dissolution extérieure est très-chargée de sel, la quantité qui pénétrera dans le vase poreux sera considérable; elle sera faible si la dissolution extérieure est très-étendue. Cependant la quantité de sel pourra devenir plus considérable si par un artifice quelconque on précipite le sel dans le vase poreux aussitôt qu'il y aura pénétré, car l'eau intérieure en étant privée, une nouvelle quantité du sel dissous dans l'eau extérieure pénétrera à son tour. Si le sel ainsi diffusé est précipité de nouveau, le même phénomène se reproduira, et la quantité trouvée dans le vase intérieur deviendra notable.

Immergeons les racines d'un Haricot dans une dissolution assez concentrée de sel marin; 5 grammes par litre, par exemple. Les lois de la diffusion exigent que le liquide ait la même concentration des deux côtés de la paroi poreuse au travers de laquelle se fait la diffusion; le tissu de la racine se comportant comme une paroi poreuse, le sel marin va pénétrer dans la plante, et comme il faut que le liquide qui gorge les tissus soit aussi concentré que le liquide extérieur, et que, par hypothèse, celui-ci est très-chargé, il y aura bientôt dans l'intérieur des tissus assez de soude pour qu'il soit facile de la caractériser dans les cendres.

L'explication de la présence de la soude dans les Haricots des expériences 1, 2, 6, ne présente donc aucune difficulté.

Efforçons-nous maintenant de comprendre pourquoi le sel marin pénètre plus facilement quand il est seul que lorsqu'il est mélangé avec une autre matière.

Nous rappelons que le sel marin exerce une influence avantageuse sur la végétation du Haricot, qu'il favorise la migration des matériaux contenus dans les cotylédons, ce que ne fait pas l'eau distillée : il est donc dans ce cas particulier utilisé par la plante ; il doit donc contracter avec ses tissus une sorte d'alliance éphémère qui l'enlève, le soustrait à la dissolution dans laquelle il se trouvait. C'est ce que prouve au reste d'une façon complète le fait constaté § VII, à savoir, que lorsque les dissolutions présentées aux racines sont très-étendues, le sel marin est absorbé par la plante plus vite que l'eau ; il faut donc que, lorsqu'il y est introduit, il contracte avec les tissus une sorte de combinaison qui l'enlève à la dissolution qui imprègne le végétal : car, s'il en était autrement, il ne pourrait pénétrer dans la plante que moins vite que l'eau, puisque la dissolution intérieure serait bientôt, par suite de l'évaporation, plus concentrée que le liquide extérieur ; que, par suite, l'eau seule entrerait et que la dissolution extérieure se concentrerait, tandis que l'expérience enseigne au contraire qu'elle s'appauvrit.

Nous savons que cette condition, formation d'une combinaison entre la matière minérale et les tissus, suffit pour expliquer l'accumulation (1) ; car aussitôt que le sel marin qui a pénétré par diffusion est soustrait à l'eau qui existe dans la plante, aussitôt qu'il est utilisé d'une façon quelconque et qu'il ne se

(1) Nous rappelons brièvement l'expérience fondamentale insérée dans notre mémoire de 1865. Un vase poreux renfermant de l'eau pure est placé dans une dissolution de sulfate de cuivre ; celui-ci pénètre par diffusion au travers de la cloison poreuse, et après quelques jours la concentration est la même des deux côtés de cette paroi. A ce moment, on précipite le sulfate de cuivre intérieur à l'aide de baryte caustique ; l'eau intérieure étant privée de ce sel, une nouvelle quantité pénètre par diffusion ; elle est précipitée à son tour et bientôt remplacée par un afflux nouveau de sulfate de cuivre. La plus grande partie de ce sel passe ainsi du vase extérieur dans le vase intérieur.

trouve plus dans cette eau à son état primitif, une nouvelle quantité du sel extérieur doit pénétrer pour remplacer celui qui a été enlevé à la dissolution qui gorge les tissus : si cette nouvelle quantité est utilisée de nouveau, elle sera encore remplacée par le sel marin du vase intérieur, et la quantité entrée sera suffisante pour qu'on puisse la reconnaître.

Enfin il nous reste un dernier cas à considérer, c'est le plus fréquent : une dissolution complexe et étendue baigne les racines.

Le sel marin pénètre par diffusion dans la plante; mais par hypothèse la dissolution est très-étendue; la quantité qui pénètre est donc faible, et bientôt la concentration intérieure est égale à la concentration extérieure : la diffusion s'arrête. Il est entré dans la plante une très-faible quantité de soude suffisante pour colorer en jaune la flamme du gaz, mais trop faible pour qu'on puisse la caractériser à l'état de sulfate ou de chloroplatinate.

Dans ce cas particulier, la soude n'entre pas en combinaison comme précédemment : en effet, la plante trouve dans la dissolution complexe qui baigne ses racines d'autres matières minérales qui exercent sur son développement une action plus favorable; elle trouve du chlorure de calcium, du chlorure de potassium, des azotates, etc., toutes matières qui peuvent entrer dans sa constitution; tandis que la soude, comme toutes les autres matières non alimentaires, ne peut exercer une action favorable qu'autant que la plante ne rencontre pas dans l'eau qui baigne ses racines une autre base.

C'est ici, il faut bien le reconnaître, que nous sommes forcé de nous arrêter dans l'essai que nous faisons d'expliquer par des lois physiques l'absorption élective des substances minérales par les plantes; nous sommes complétement impuissant à concevoir pourquoi la soude ne forme pas habituellement avec les tissus végétaux des combinaisons comme la potasse ou la chaux... Nous laissons donc complétement de côté cette question; nous partons du fait constaté par M. Peligot, à savoir, que la soude ne se trouvant pas habituellement dans les plantes, on doit admettre qu'elle ne s'unit pas aux fibres végétales.

CONCLUSIONS.

Ce fait étant admis, les expériences consignées dans ce mémoire démontrent :

1° Que le chlorure de sodium peut pénétrer dans les plantes qui n'en renferment pas d'ordinaire.

2° Que cette absorption n'a lieu, quand les racines rencontrent une dissolution complexe, que lorsque le sel marin se trouve dans cette dissolution en quantité notable, condition que les terres arables ordinaires ne présentent pas; d'où l'on tire la raison de l'absence habituelle de la soude des cendres des végétaux terrestres.

3° Que l'absorption est beaucoup plus facile quand le sel marin est présenté seul aux racines: mais dans ce cas le sel marin cesse d'être indifférent; il est au contraire utilisé par la plante, ce que nous démontrons :

a. En remarquant que les Haricots vident leurs cotylédons quand leurs racines plongent dans une dissolution renfermant du sel marin;

b. En remarquant en outre que le Haricot plongé dans une dissolution très-étendue prend le sel en plus grande raison que l'eau.

La combinaison qui contracte dans ce cas le sel marin avec les tissus suffit à faire comprendre son absorption plus facile.

Les faits précédents s'expliquent aisément à l'aide des phénomènes de diffusion, et par suite l'assimilation de la soude ne présente qu'une exception apparente aux règles que nous avons posées dans notre premier mémoire.

Remarquons toutefois que même en nous plaçant dans des conditions toutes spéciales, nous n'arrivons à faire pénétrer le chlorure de sodium dans une plante comme le Haricot d'Espagne qu'en très-faibles quantités, ce qui confirme complétement l'importante observation de M. Peligot sur la faible tendance qu'ont les plantes à s'emparer de la soude.

TABLE DES ARTICLES

CONTENUS DANS CE VOLUME.

ORGANOGRAPHIE, ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE VÉGÉTALES.

FLORES ET GÉOGRAPHIE BOTANIQUE.

TABLE DES MATIÈRES

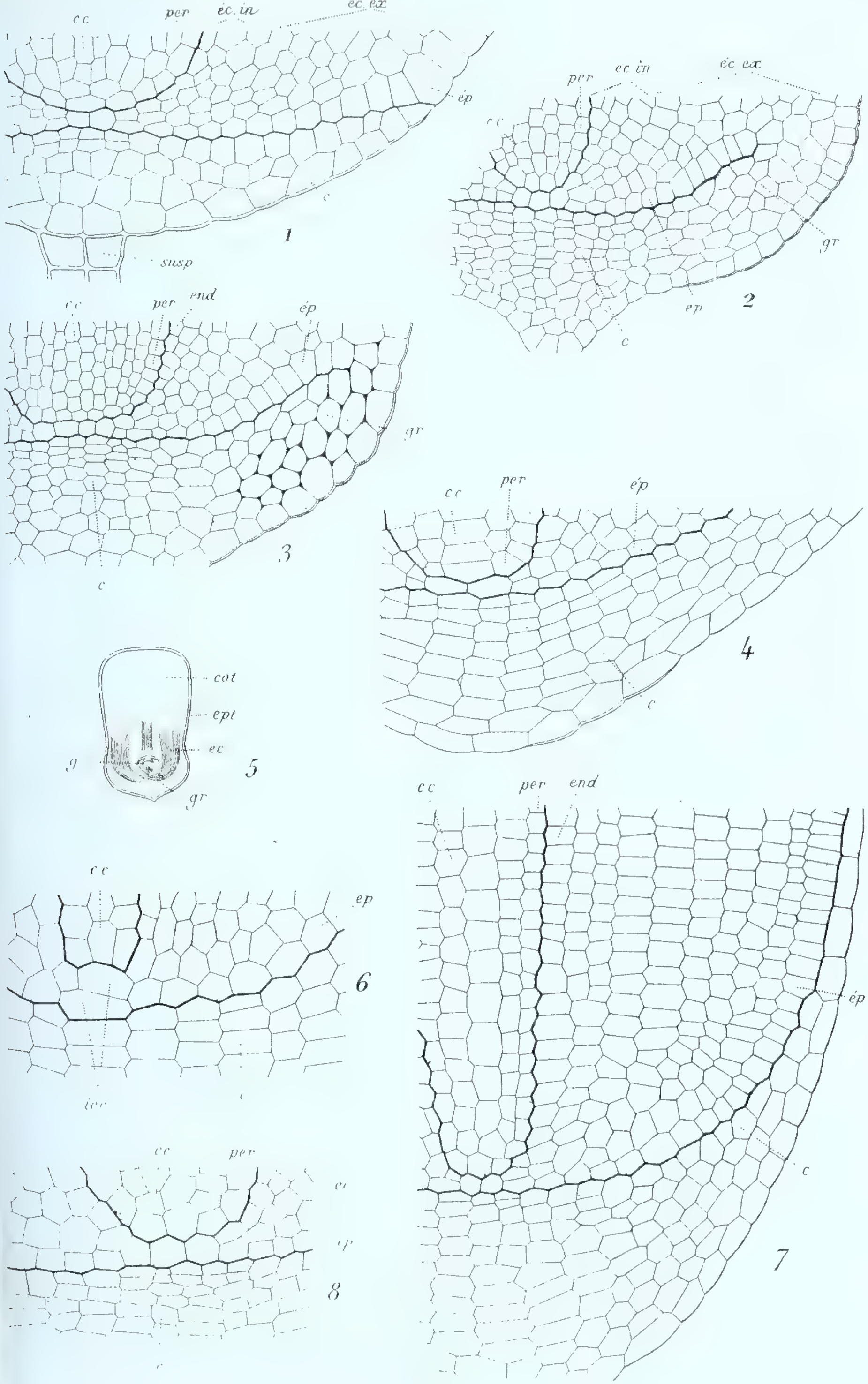
PAR NOMS D'AUTEURS.

TABLE DES PLANCHES

RELATIVES AUX MÉMOIRES CONTENUS DANS CE VOLUME

FIN DES TABLES.

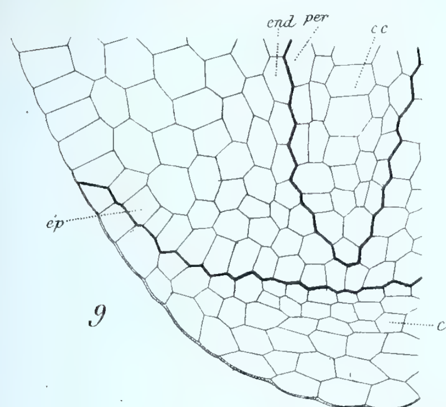
PARIS. — IMPRIMERIE DE E. MARTINET, RUE MIGNON, 2

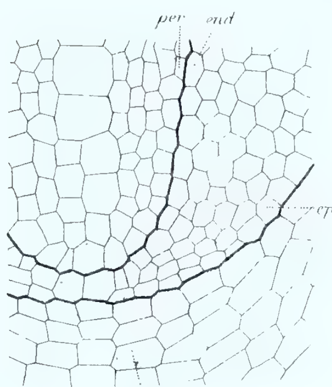


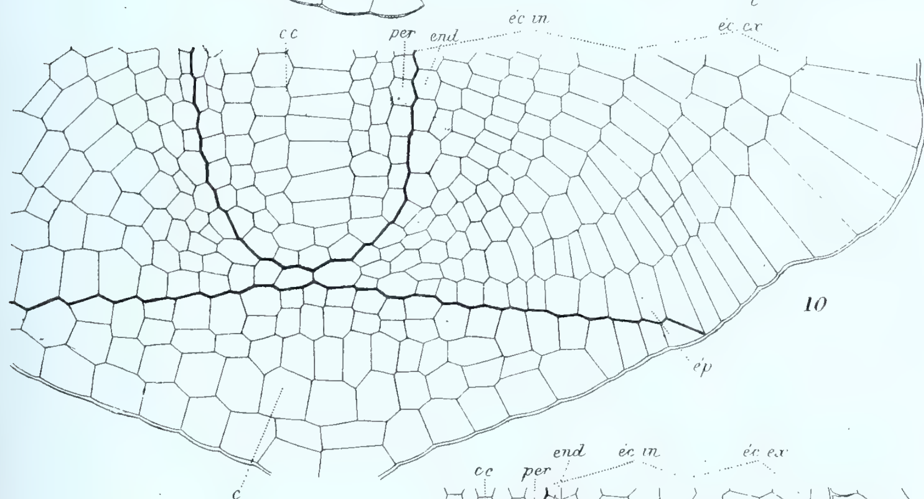
C. Flahault del.
E. Morieu sc.

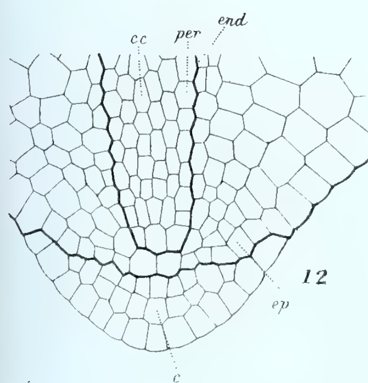
1 Carex. — 2. 3. Commelyna. — 4 Calla. — 5 Phœnix. — 6 Zephyranthes. 7 Agave. — 8 Iris.

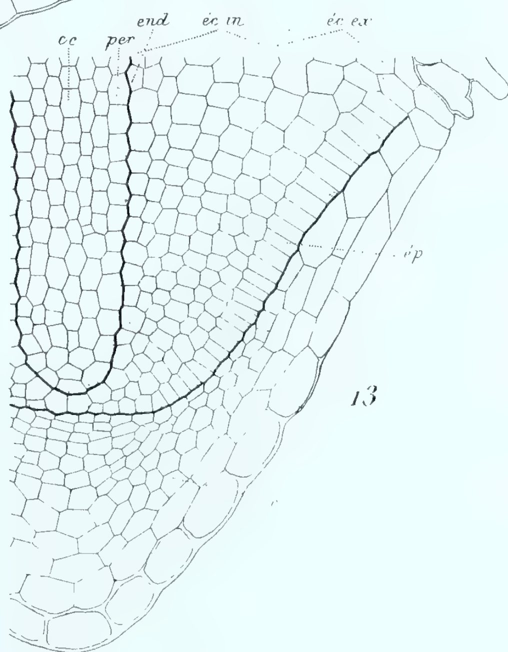
Imp. Becquet, r. des Noyers 37 Paris







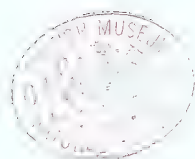




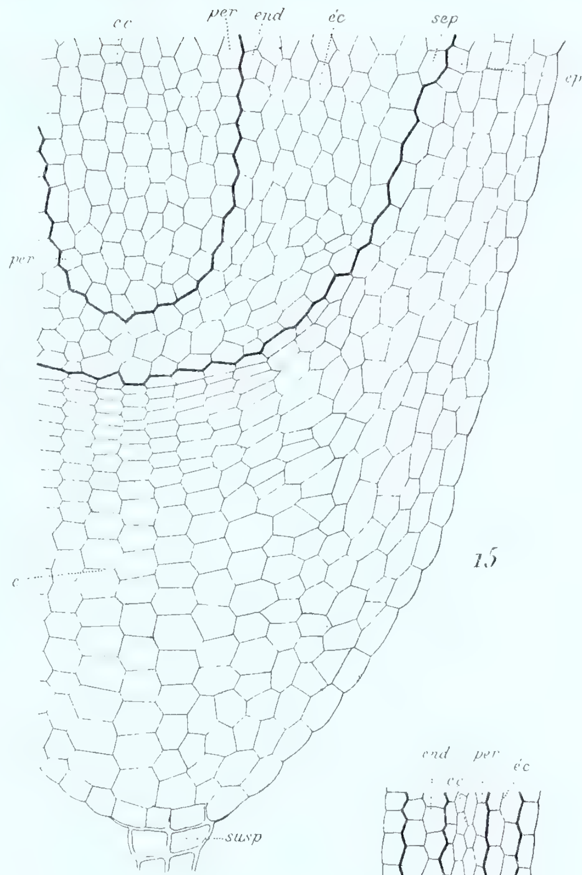
C. Flahault del. A. Marieu s.

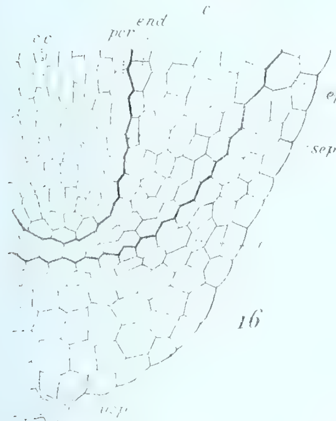
9 Dyckia. — 10 Pontederia. — 11 Canna. — 12 Alisma. — 13 Triglochin

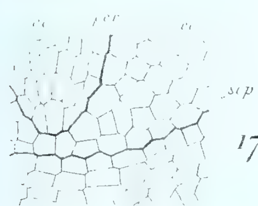
Imp. Becquet r. des Noyers 37 Paris

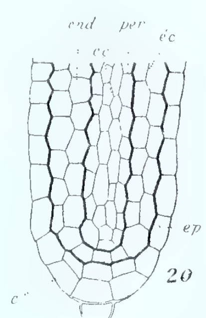


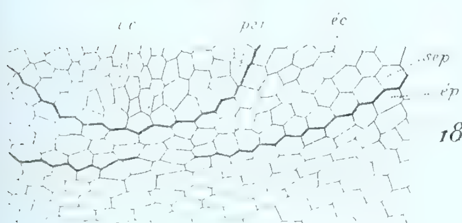


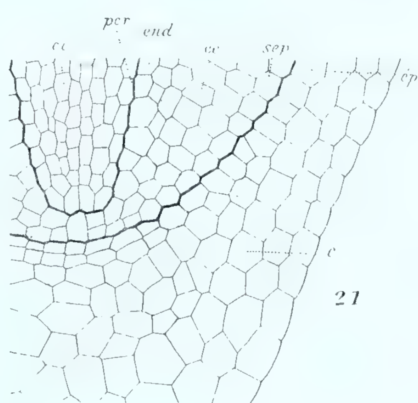


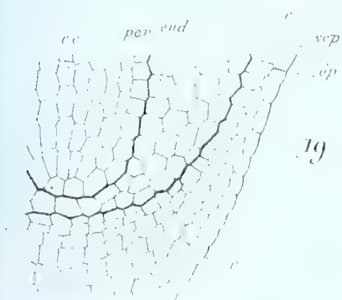






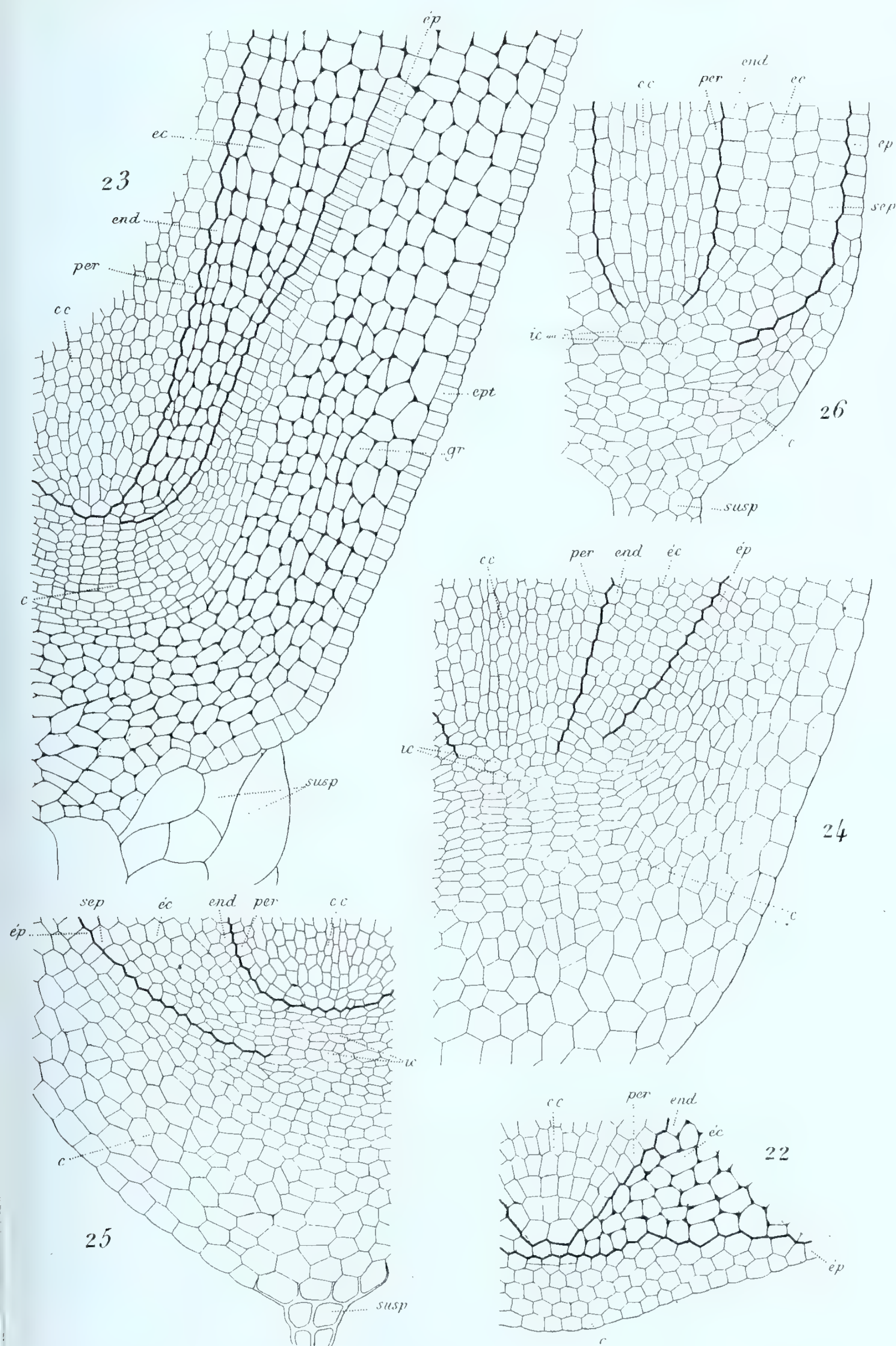






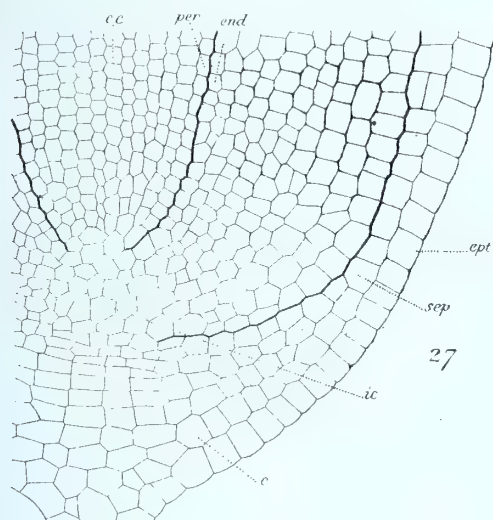
C. Flahault del. Imp. Becquet, r. des Noyers 37, Paris. E. Morieu sc.

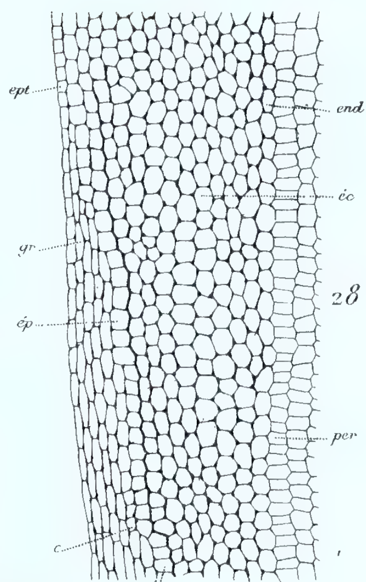
14 *Silybum.* — 15 *Cephalaria.* — 16 *Vinca.* — 17 *Cynoglossum.*
18 *Mandragora.* — 19 *Globularia.* — 20 *Erica.* — 21 *Limnanthes.*

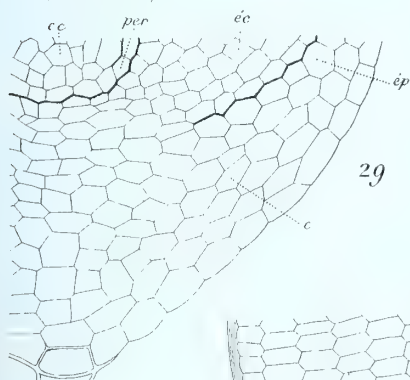


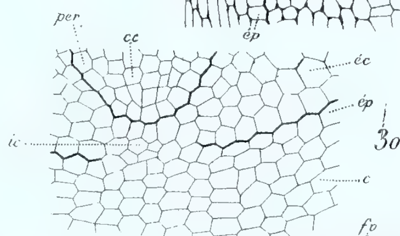
C. Flahault del.

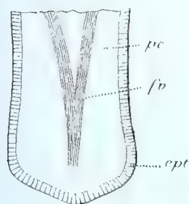
22 Impatiens. — 23 Tropœolum. — 24 Kœlreuteria. — 25 Acer. — 26 Aconitum.

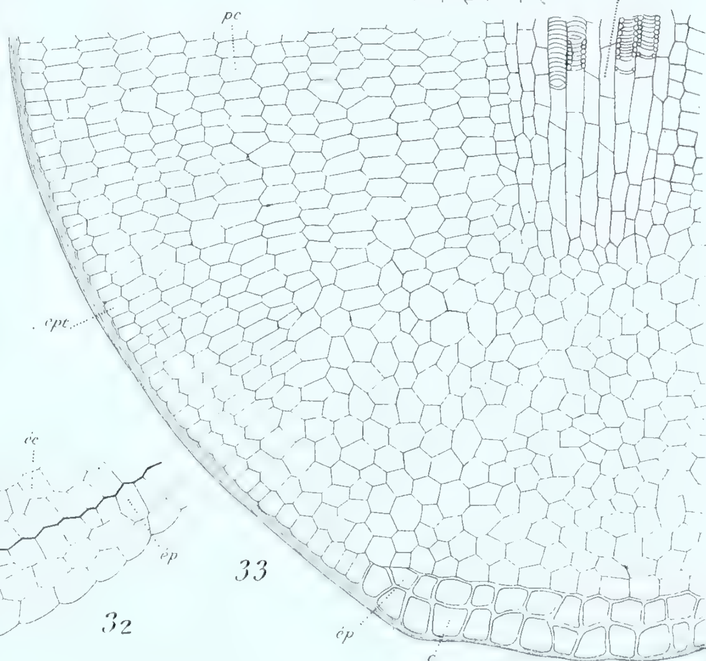


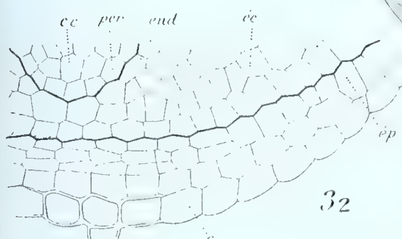








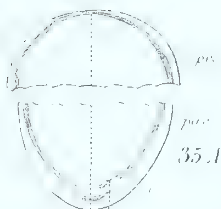


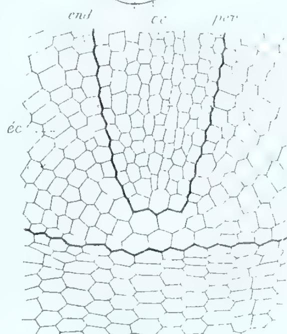


C. Flahault del. E. Morieu sc.

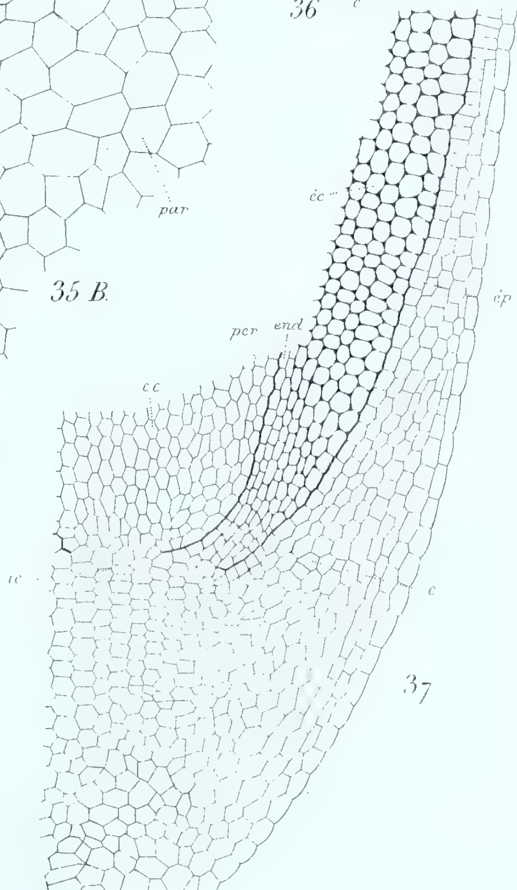
27 *Pæonia.* — 28 *Mirabilis.* — 29 *Hedera.* — 30 *Ferula.* — 31 *Viscum*
32 *Gronovia* — 33 *Trapa.*

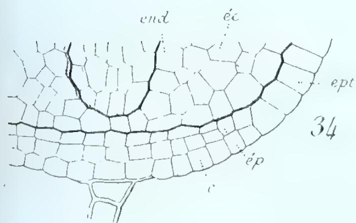
Imp. Becquet, r. des Noyers 37 Paris.





35 B.

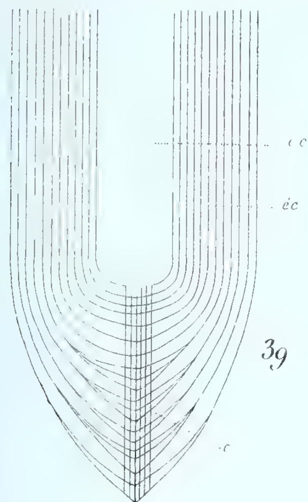


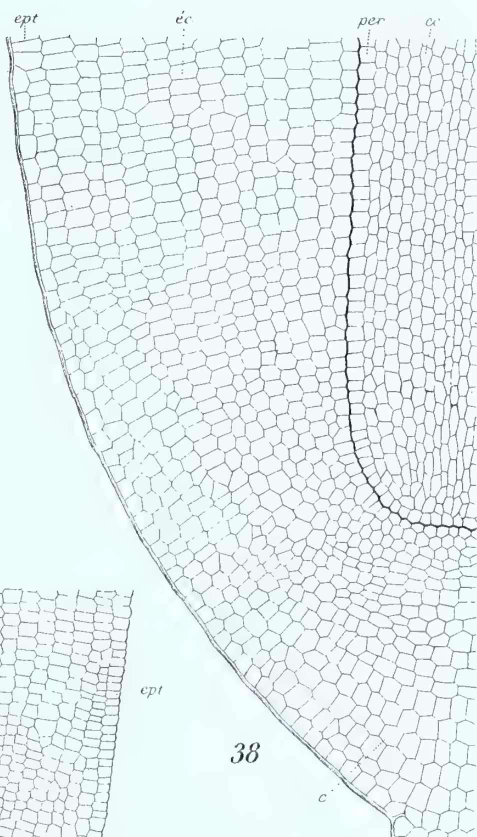


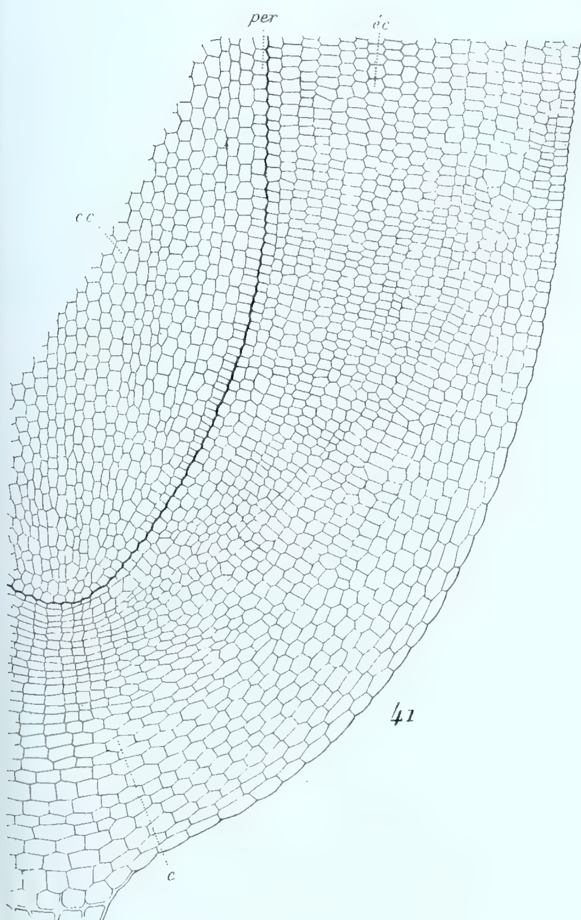
C. Flahault del. E. Moreau sc.

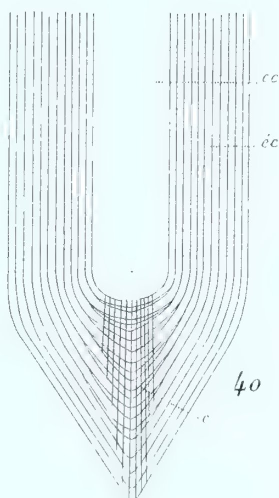
34 Hippuris. — 35 Bertholletia. — 36 Gillenia. — 37 Pisum.







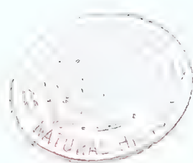


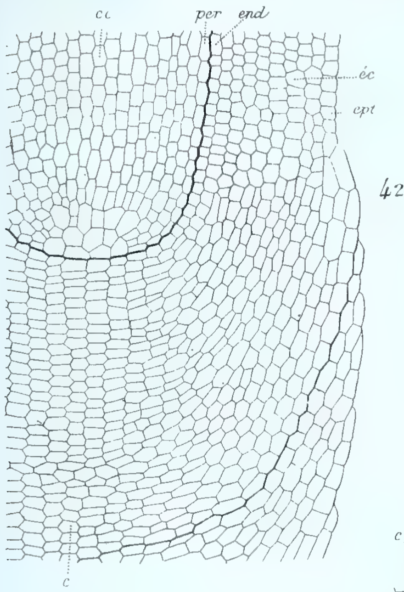


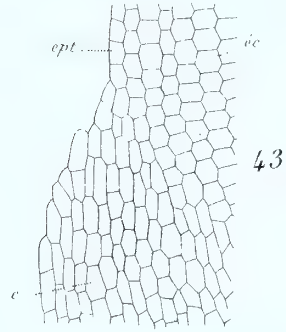
C. Flahault del. E. Morieu sc.

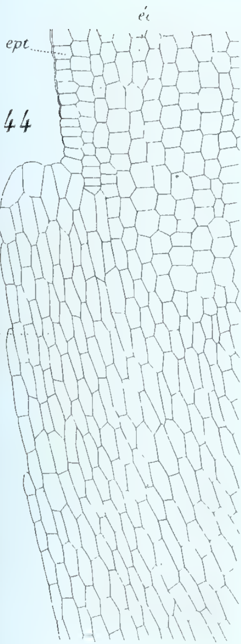
38 Cercis. — 39 Cœsalpinia. — 40 Tamarindus. — 41 Acacia.

Imp. Becquet, r. des Noyers 37, Paris.









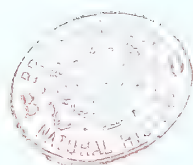
end
éc
ept
per
cc
45

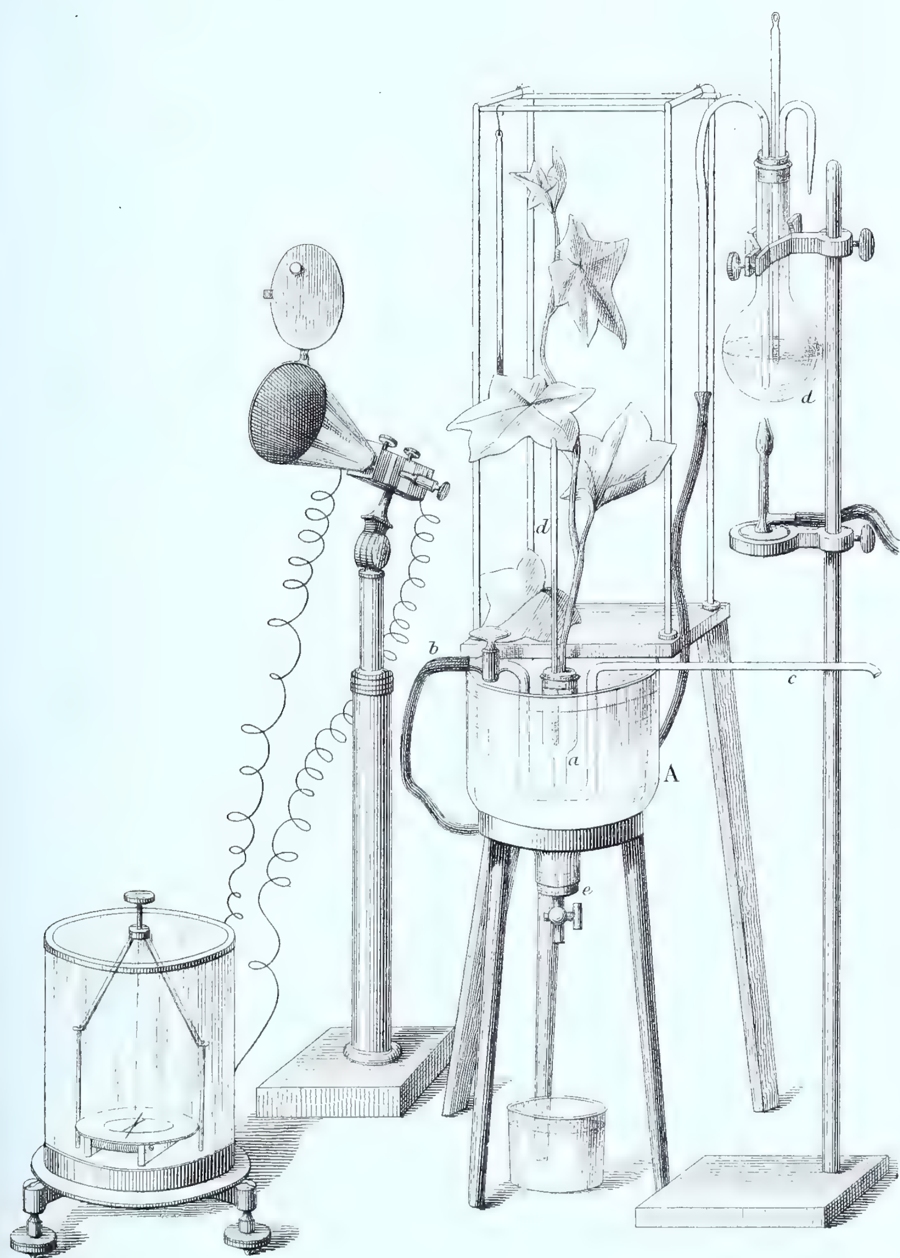
C. Flahault del.

E. Morieu sc.

42, 43 Pinus. — 44 Cedrus. — 45 Ephedra.

Imp. Becquet r. des Noyers 37, Paris

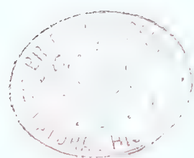


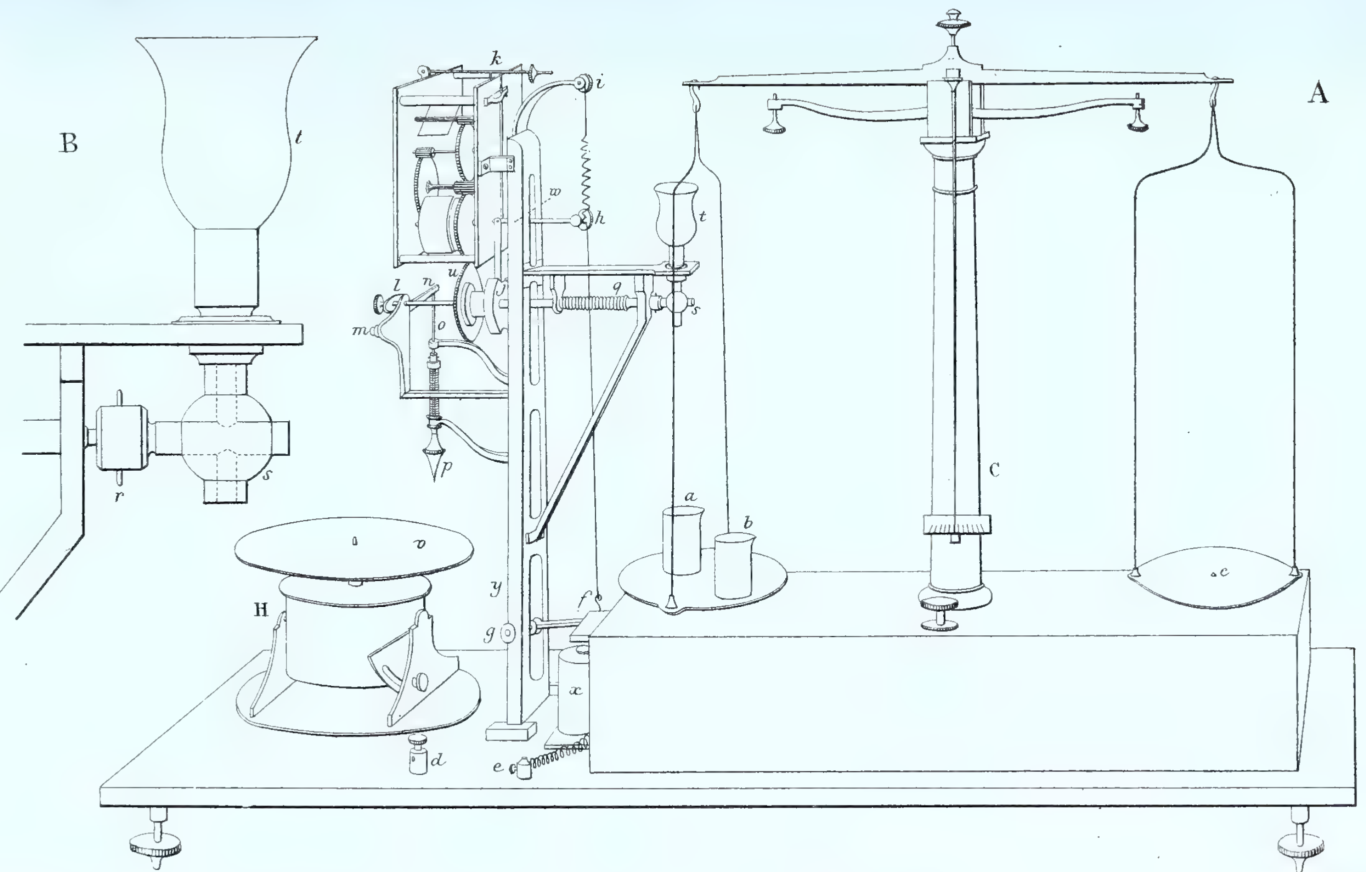


J. Vesque del E. Morieu sc.

Appareil servant à l'étude de l'absorption.

Imp. Becquet, r. des Noyers 37, Paris



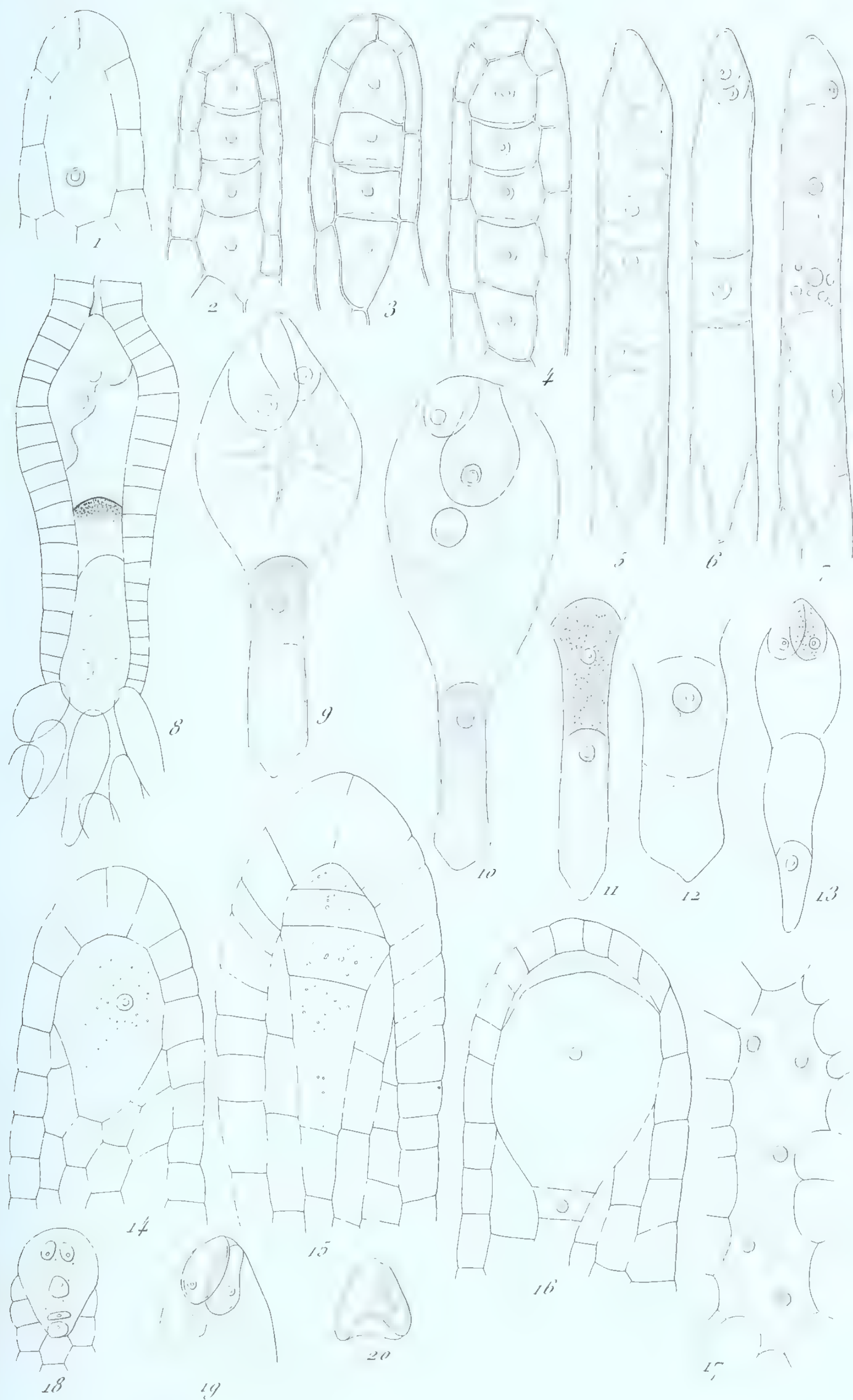


J. Vesque del

E. Morieu sc

Appareil enregistreur de l'absorption.

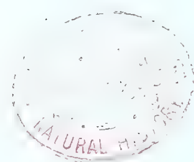
Imp. Becquet, r des Noyers 37, Paris

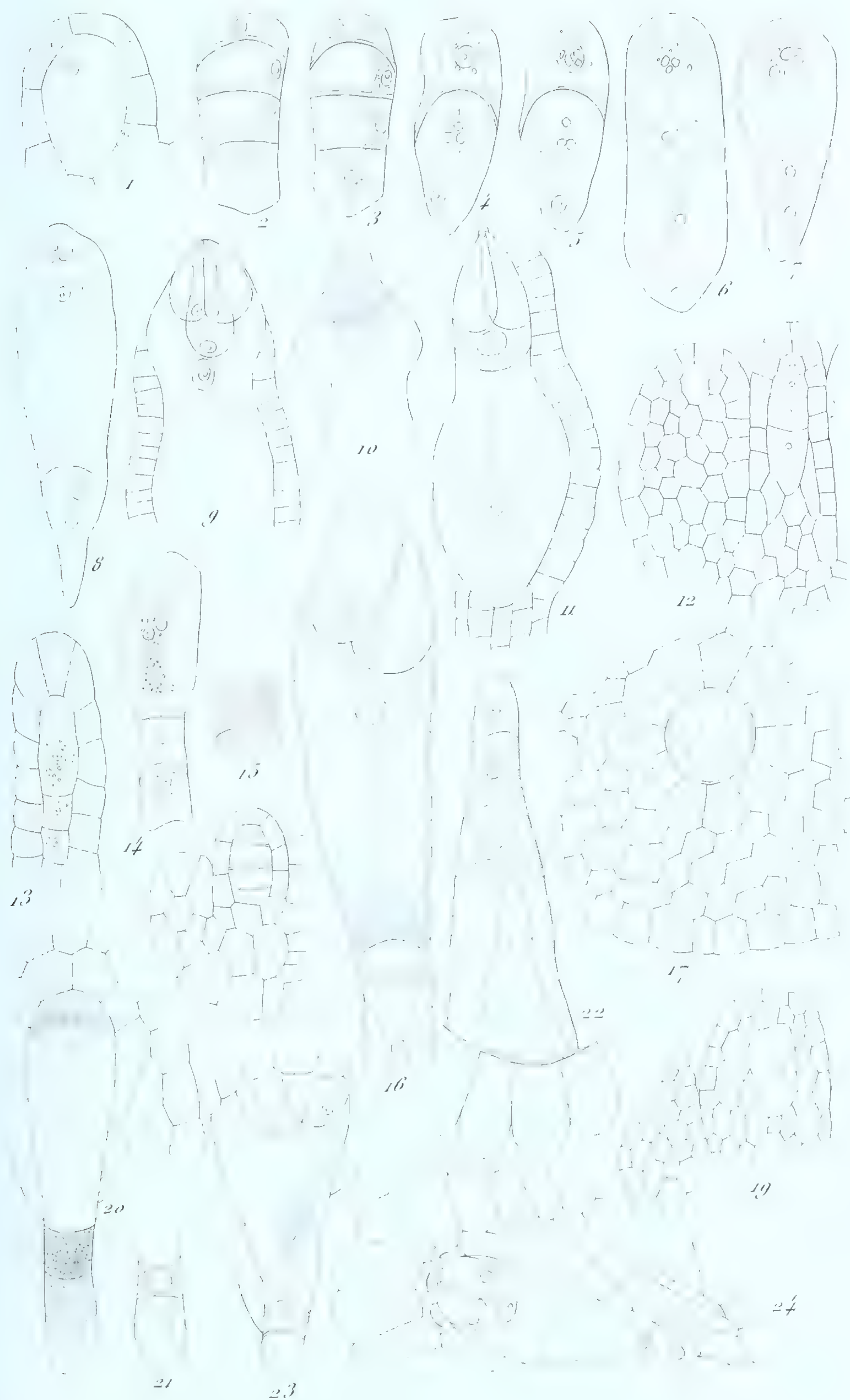


Vesque del. Lagesse sc.

Senecio (1-11 et 13). Tragopogon (12). Lonicera (14-20).

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.

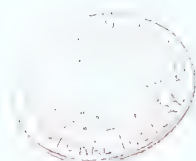

NATURAL

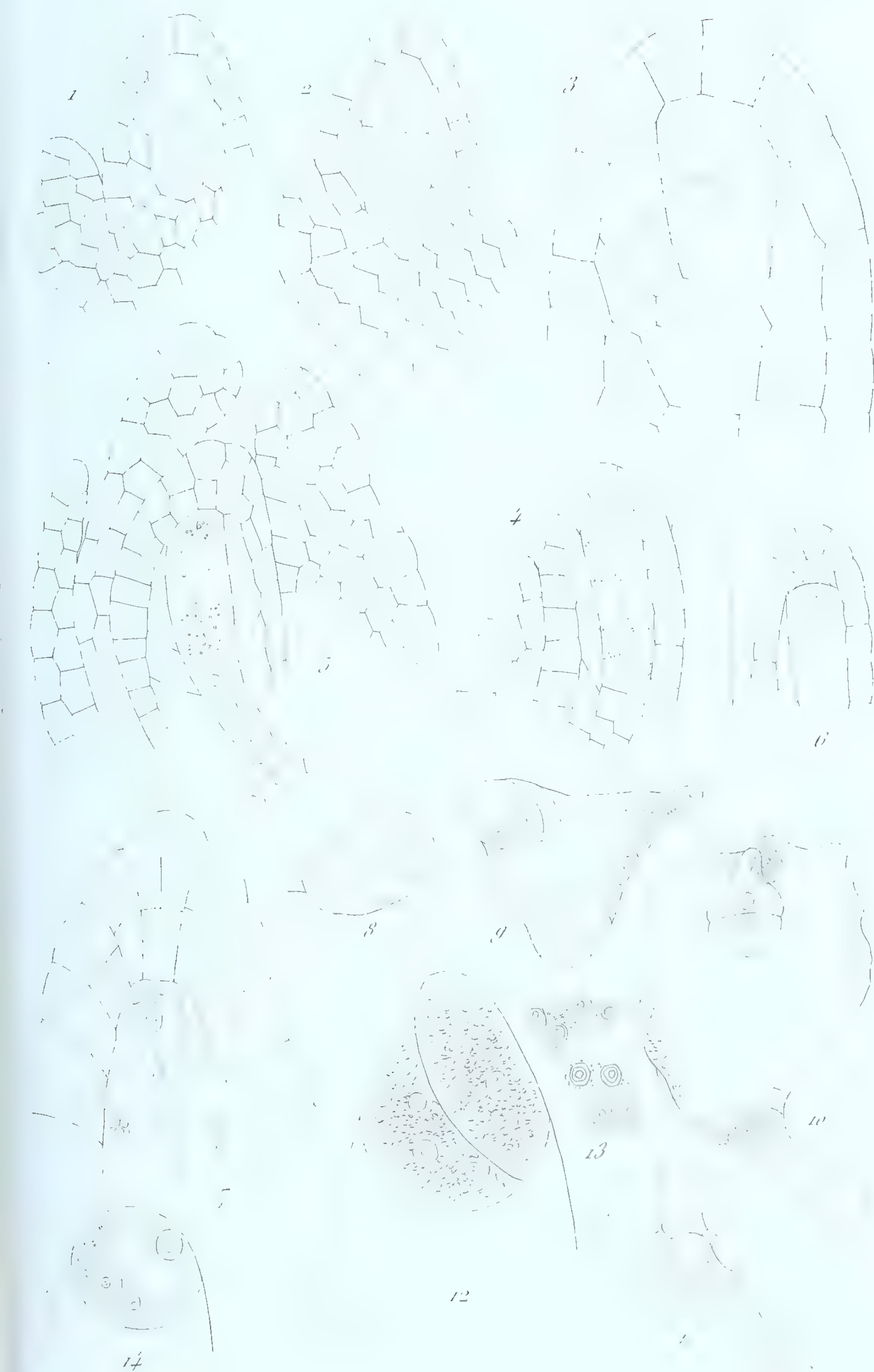


Vesque del. *Lagesse sc.*

Lobelia (1–8). Siphocampylus (9–11). Campanula (12–17).
Stylidium (18). Iris (19–24).

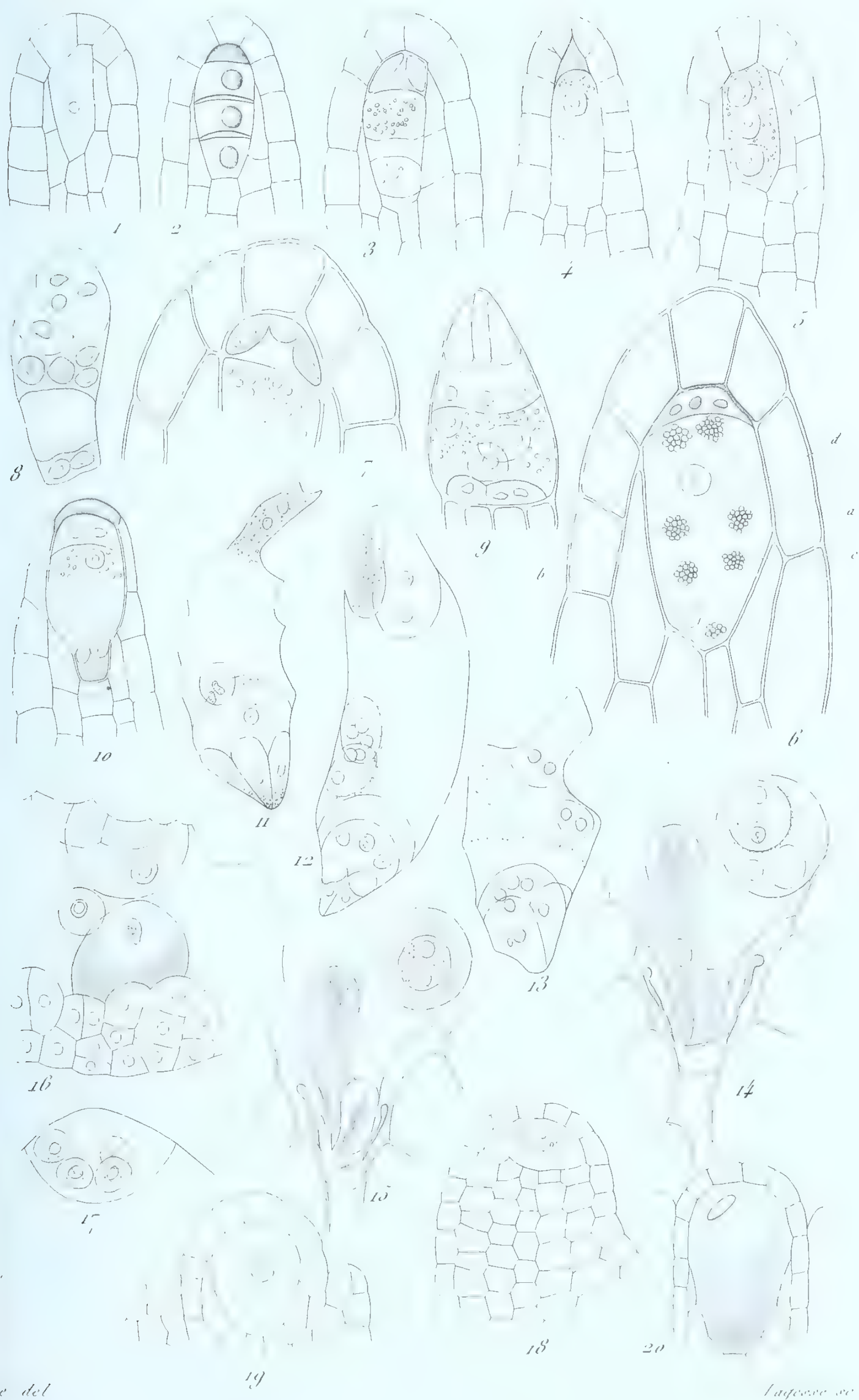
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.





Stellaria (1_7). Borrago (8_9). Nonea (10_11). Eranthis (12_14)

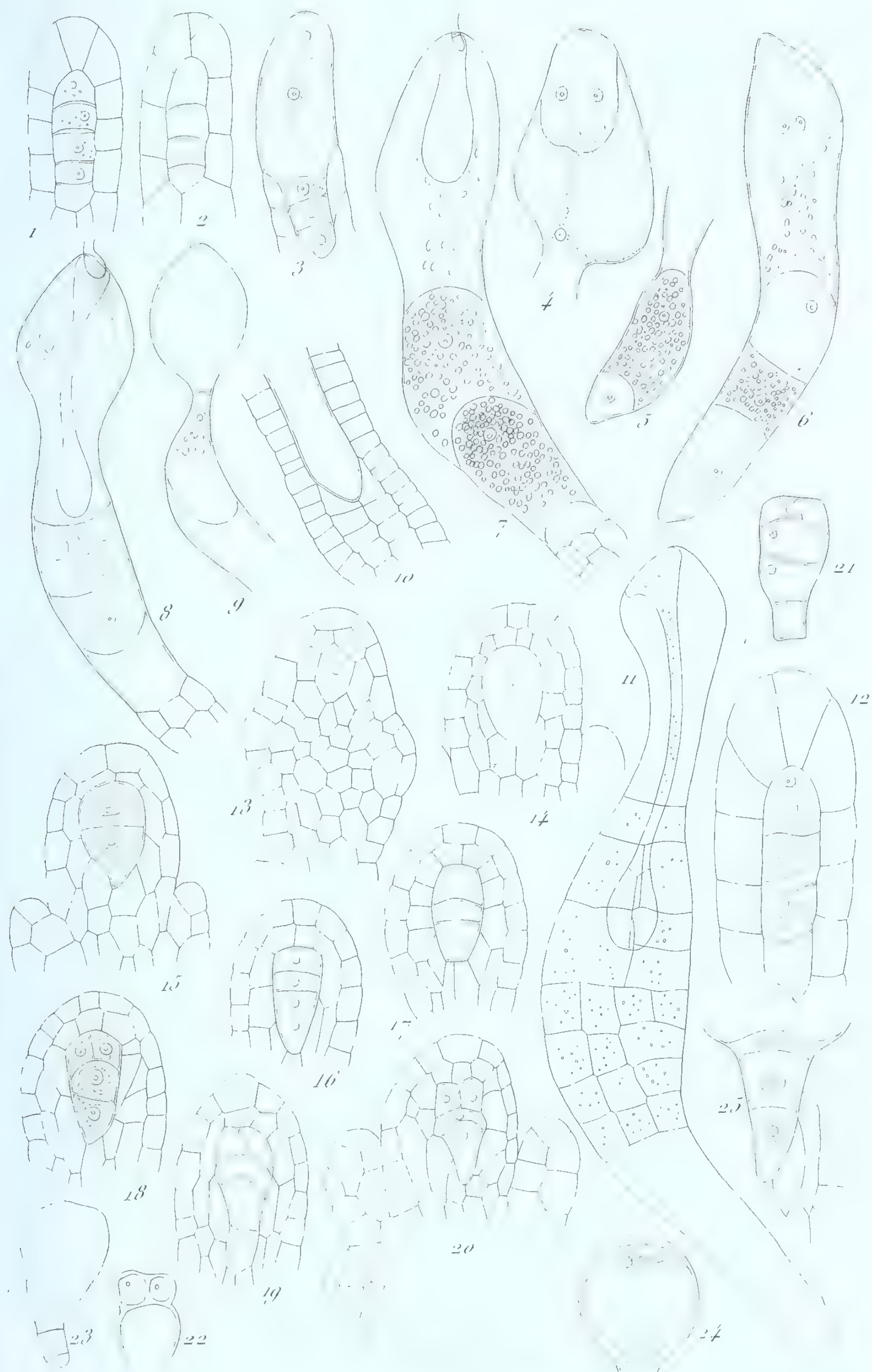
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



rque del. Lagesse sc.

Allium (1-15). Nothoscordum (16-17). Lilium (16-20).

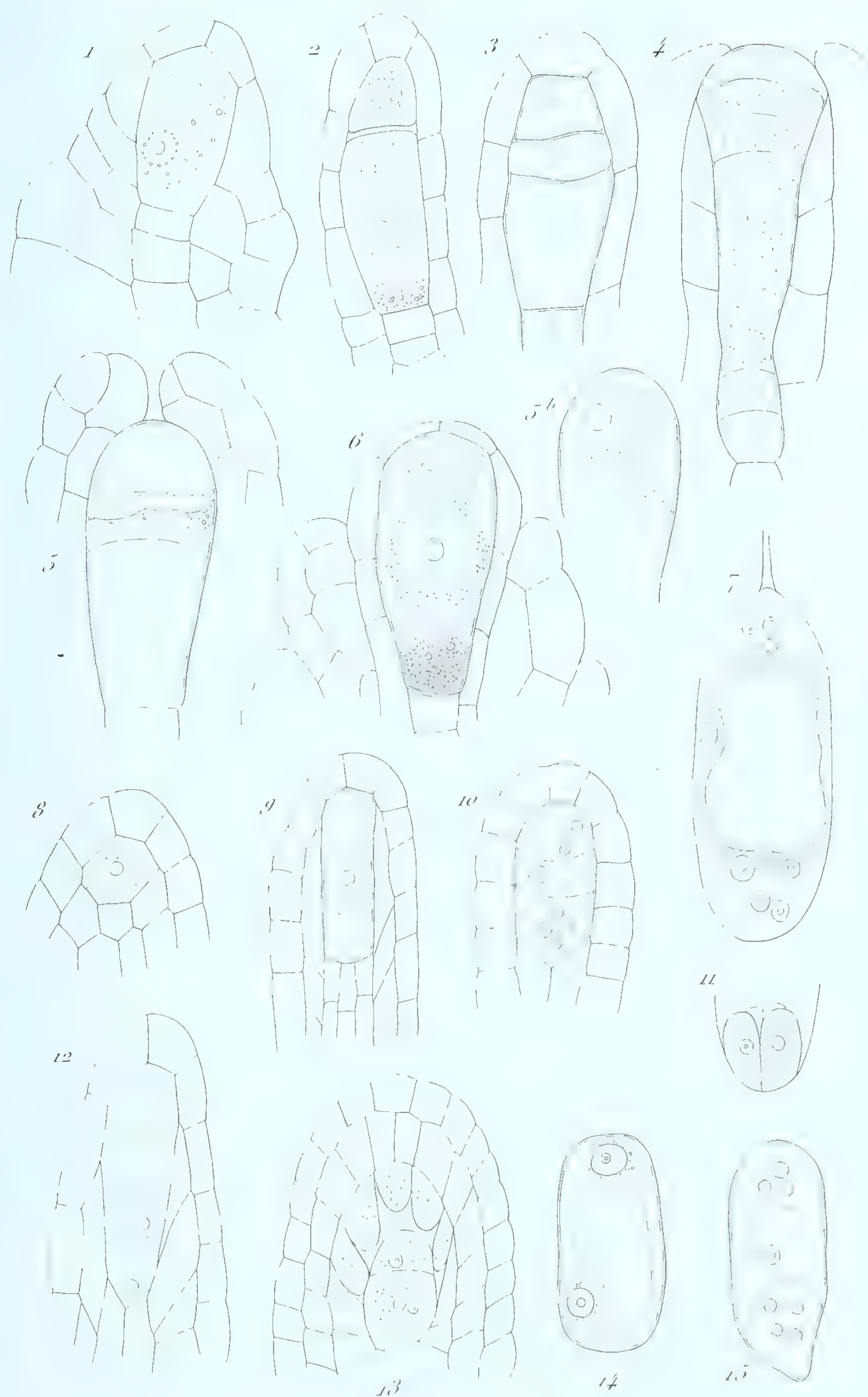
Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



Vesque del. Lagesse sc.

Salvia (1-11). Glechoma (12). Butomus (13-25).

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.



Vesque del. Lagesse sc.

Orchis (1_7). Hemerocallis (8_12). Ornithogalum (13_15).

Imp. A. Salmon, r. Vieille Estrapade, 15, Paris.

